



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA  
AFIRMADO INCORPORANDO CAUCHO EN DIFERENTES  
PORCENTAJES”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Diego Fernando Cubas Castro

Asesor:

Ing. Alejandro Cubas Becerra

Cajamarca - Perú

2019

## DEDICATORIA

A Dios por la fortaleza que me dio a cada momento a lo largo de toda mi formación académica.

A mi padre, madre y hermanos, por ser los pilares más importantes, por demostrarme su cariño y apoyo incondicional en todo momento impulsándome siempre hacia adelante y darme la oportunidad de cumplir mis sueños y metas planteadas.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de toda mi familia y amigos.

A mis docentes por la enseñanza transmitida en todos estos años de estudio que han sido de sumo provecho para mi formación como profesional

## AGRADECIMIENTO

Doy las gracias a Dios por todo lo vivido por haberme dado la fortaleza y salud suficientes para poder sobrellevar todas las dificultades dándome la oportunidad de ser mejor cada vez y poder lograr mis metas.

Doy las gracias a mis padres por su apoyo incondicional durante todo este tiempo, a mis hermanos y amigos cercanos por sus consejos y enseñanzas, sin ellos esto no habría sido posible.

Agradecer a Dios por la vida y a todas esas personas que a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado incansablemente mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y jamás dudaron de mis habilidades. A mi novia por toda la ayuda brindada la cual fue sumamente importante en esta etapa.

Doy las gracias a mi asesor por su orientación y enseñanza a lo largo de esta investigación.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema .....	19
1.3. Objetivos .....	19
1.4. Hipótesis.....	20
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>21</b>
2.1. Tipo de investigación .....	21
2.2. Diseño de Investigación .....	21
2.3. Variables de Estudio.....	21
2.4. Población y muestra .....	21
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	21
2.6. Procedimiento.....	23
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
3.1. Contenido de humedad.....	41
3.2. Abrasión los Ángeles .....	41
3.3. Límites.....	42
3.4. Granulometría.....	43
3.5. Proctor Patrón.....	44
3.6. Proctor + 3% de caucho .....	45
3.7. Proctor + 5% de caucho .....	46
3.8. Proctor + 7% de caucho .....	47
3.9. California Bearing Ratio (CBR) – Afirmado Patrón.....	48
3.10. California Bearing Ratio (CBR) – Afirmado + 3% de Caucho .....	49
3.11. California Bearing Ratio (CBR) – Afirmado + 5% de Caucho .....	50
3.12. California Bearing Ratio (CBR) – Afirmado + 7% de Caucho .....	51
3.13. Resumen de resultados .....	52
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>54</b>
4.1. Discusión.....	54

4.2. Conclusiones .....	56
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ensayos del material para Afirmado .....	18
Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	22
Tabla 3: Clasificación de suelos SUCS .....	23
Tabla 4: Clasificación de suelos AASHTO .....	26
Tabla 5: Carga abrasiva y granulometría para Abrasión los Ángeles .....	34
Tabla 6: Peso y granulometría de la muestra para ensayo .....	34
Tabla 7: Lecturas del CBR .....	38
Tabla 8: Ensayo de contenido de humedad del afirmado de la cantera "El Gavilán" .....	41
Tabla 9: Desgaste a la abrasión .....	41
Tabla 10: Determinación del límite líquido .....	42
Tabla 11: Determinación del límite plástico .....	43
Tabla 12: Análisis granulométrico .....	43
Tabla 13: Proctor modificado- Afirmado Patrón .....	44
Tabla 14: Proctor modificado- Afirmado con 3% de caucho .....	45
Tabla 15: Proctor modificado- Afirmado con 5% de caucho .....	46
Tabla 16: Proctor modificado- Afirmado con 7 % de caucho .....	47
Tabla 17: Esfuerzos para 0.1" de penetración- Afirmado Patrón .....	48
Tabla 18: Esfuerzos para 0.1" de penetración- Afirmado + 3% de caucho .....	49
Tabla 19: Esfuerzos para 0.1" de penetración- Afirmado + 5% de caucho .....	50
Tabla 20: Esfuerzos para 0.1" de penetración- Afirmado + 7% de caucho .....	51

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Límite líquido.....	43
Gráfico 2: Curva granulométrica.....	44
Gráfico 3: Óptimo contenido de humedad del afirmado patrón.....	45
Gráfico 4: Óptimo contenido de humedad del afirmado + 3% de caucho .....	46
Gráfico 5: Óptimo contenido de humedad del afirmado + 5% de caucho .....	47
Gráfico 6: Óptimo contenido de humedad del afirmado +7% de caucho .....	48
Gráfico 7: Curva Esfuerzo - Penetración del afirmado patrón .....	49
Gráfico 8: Curva Esfuerzo - Penetración del afirmado + 3% de caucho.....	50
Gráfico 9: Curva Esfuerzo - Penetración del afirmado + 5% de caucho.....	51
Gráfico 10: Curva Esfuerzo - Penetración del afirmado + 7% de caucho.....	52
Gráfico 11: Resultados máxima Densidad seca .....	52
Gráfico 12: Resultados Óptimo contenido de humedad.....	53
Gráfico 13: Resultados CBR (100% Ds máx).....	53

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Índice de grupo .....	24
--	----



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Protocolos UPN .....	60
<b>Anexo 2:</b> Panel Fotográfico .....	68
<b>Anexo 3:</b> Especificaciones técnicas del caucho .....	73
<b>Anexo 4:</b> Protocolos de ensayos realizados .....	76

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo determinar la resistencia mecánica de un material para afirmado incorporando caucho en diferentes porcentajes. Para ello, primero se estudió el material de la cantera “El Gavilán” (Cajamarca, Perú) determinando sus propiedades físicas y mecánicas mediante los procedimientos y normas vigentes, mismo que cumple con los requisitos establecidos por el MTC para un material para afirmado; luego se determinó las mismas propiedades después de agregarle 3 diferentes porcentajes de caucho granulado (3%, 5% y 7%) teniendo como referencia el material patrón de afirmado (sin adición de caucho); por último, se procesaron los datos con ayuda del Excel y se realizaron gráficas para comparar las características entre un material y otro.

Se determinó que la máxima densidad seca disminuye por cada adición de caucho respecto a la muestra patrón la cual obtuvo un valor de  $2.30 \text{ gr/cm}^3$  y para las adiciones de 3%, 5% y 7% se obtuvo:  $2.19 \text{ gr/cm}^3$ ,  $2.16 \text{ gr/cm}^3$  y  $2.065 \text{ gr/cm}^3$  respectivamente, lo que quiere decir que la máxima densidad seca disminuye por cada adición de caucho respecto de la muestra patrón en 4.78%, 6.1% y 10.20% para 3% ,5% y 7% de adición respectivamente. Por otro lado, la resistencia mecánica disminuye siendo los valores de: 55.63% para la muestra patrón, 16.50% para el afirmado con 3% de adición de caucho, 13.91% para el afirmado con 5% de adición y 8.80% para el afirmado con 7% de adición. Por todo lo expuesto, la hipótesis de la presente investigación se rechaza ya que la resistencia mecánica del material para afirmado disminuye en más de 70% con las adiciones de caucho granulado respecto a la muestra patrón.

**Palabras clave:** Afirmado, Propiedades físicas y mecánicas, Caucho granulado

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El deterioro de vías es un factor presente en todas las obras de infraestructura de este tipo y puede ocurrir en distintas etapas, desde un deterioro lento que no se percibe, hasta un deterioro crítico que evidencia una descomposición total que involucra una nueva conformación o rehabilitación de la vía. En consecuencia, una de las desventajas de las vías sin pavimentar es su mecanismo de deterioro, el mecanismo de deterioro en carreteras no pavimentadas es un proceso más acelerado en comparación con vías pavimentadas, esto se debe a que en condiciones secas y bajo la acción abrasiva de los neumáticos los finos llegan a pulverizarse iniciándose así un progresivo desgaste de la superficie; según el (MEF, 2015) La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales y sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general, se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidos como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos.

Actualmente, según un informe publicado por (Agencia Peruana de Noticias Andina, 2018) la Red Vial en el Perú comprende 26,976.00 Kilómetros, de los cuales 20,368.00 Kilómetros se encontraban asfaltados al cierre del año 2017. Al respecto, la viceministra de comunicaciones, Rosa Virginia Nakagawa Morales, explicó que la Red Vial Nacional está organizada por 03 ejes longitudinales y 20 ejes transversales, de los cuales 6,693.00 Kilómetros están concesionados. Por otro lado, refirió que la Red Vial Subnacional comprende 139,973.00 Kilómetros, divididos en la Red Vial Departamental (RVD) con 27,481.00 Kilómetros y la Red Vial Vecinal (RVV) con 112,492.00 Kilómetros. En el caso de la RVD precisó que solo 3,714.00 Kilómetros

están asfaltados y 23,767.00 Kilómetros no están pavimentados; y en la RVV detalló que solamente 1,884.00 Kilómetros están asfaltados y 110,608.00 Kilómetros no están pavimentados. A partir de esto, con respecto al tipo de superficie de rodadura en la RVD, se cuenta con 86.49% de carreteras afirmadas y en la RVV existe un 98.33%.

Las cifras mencionadas en el párrafo anterior demuestran que aún existe una brecha en infraestructuras, la cual a su vez se refleja en el mal estado de las mismas. Así pues, el mal estado de las vías es a causa del mecanismo de deterioro, el cual se puede presentar por la acción del tráfico y las condiciones climáticas.

(Mateos, 2016) En la ciudad de Cimbra- España, hizo una investigación titulada “Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras” en el cual estudió el efecto de cuatro niveles de cloruro de calcio en las propiedades mecánicas del suelo. Estableció cuatro incorporaciones de cloruro de calcio (0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%) más un control (0% de cloruro de calcio). Para la evaluación de las propiedades mecánicas de cada incorporación se realizó ensayos de CBR. Los resultados fueron que al adicionar cloruro de calcio aumenta la densidad seca, por lo tanto, se incrementa la capacidad portante. El autor concluye en que el cloruro cálcico es uno de los agentes estabilizadores de suelos más económicos, siendo usado, por los beneficios que reporta, tanto en la construcción de capas de sub-base y base para autopistas y carreteras, como en capas de rodadura de caminos ordinarios de tierra. Además, aclara que el cloruro, no convierte un suelo en un material con las características del suelo cemento, sino que origina cambios en el suelo que son a veces intangibles, pero que mejoran la estabilidad de los pavimentos y reducen el coste de la conservación.

Por otro lado, Según (Surichaqui, 2017) en su tesis titulada “Mejoramiento de las propiedades Físico -Mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con Óxido de

Calcio”, describe y explica la influencia de la estabilización química mediante la adición de diversos porcentajes de óxido de calcio y determinar su óptimo porcentaje para obtener mejoras en los suelos estudiados. A partir del estudio realizado se concluyó que la estabilización química con óxido de calcio influye positivamente en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, obteniendo como porcentaje óptimo la adición del 3% de óxido de calcio en peso de suelo, reduciendo su índice de plasticidad con un IP de 19.08% a un IP de 4.17% posterior a su estabilización, del mismo modo, aumenta el valor de CBR de un 4.85% a un valor de 15.64% posterior a su estabilización.

Así mismo, (Víctor Hernández, 2018) reveló que en todo el interior de la región Cajamarca solo existen dos vías asfaltadas, mientras que el resto solo cuenta con afirmado local, a pesar de los ingentes recursos que aporta la región al erario nacional. Según el (MTC, 2018), las fallas más comunes en vías no pavimentadas son: deformación, erosión, baches (huecos), encalaminado, lodazal y cruce de agua. Es por ello que, con el paso del tiempo, se han realizado estudios de mejoramiento de suelos con el fin de mejorar el comportamiento de los materiales usados para afirmado. Al respecto, (Chávez, 2018), menciona que “El mejoramiento de los suelos ha atendido a diversos requerimientos, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros; buscando en todos los casos, un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil”.

Debido a la problemática que aqueja tanto al país como a la región Cajamarca, con respecto a la red vial, (Boza, 2015), menciona que según el magíster Julián Rivera, especialista en transporte por la Universidad de Piura y docente de la Maestría en

Ingeniería Civil con mención en Vial de la UDEP “La red vial de un país es fundamental para su desarrollo y crecimiento porque es el único medio que posibilita el transporte de las personas y las cargas”.

(Rivera & Medina 2016) en su tesis titulada “Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1%,2%,3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado” en Cajamarca- Perú, se centra en determinar propiedades físicas y mecánicas dentro de ellas abrasión, granulometría, límites de Atterberg, compactación y CBR de un material para afirmado, para luego determinar cómo la incorporación del cloruro de calcio en diferentes porcentajes (1%,2%,3% y 4%) influye en cada una de estas propiedades. Finalmente se pudo observar que al incorporar cloruro de calcio la máxima densidad seca presenta un incremento de 2.195 gr./cm<sup>3</sup> hasta 2.253 gr. /cm<sup>3</sup> para el 4% de cloruro de calcio; por otro lado, el óptimo contenido de humedad disminuyó al incorporar cloruro de calcio siendo el de la muestra patrón 6.10% mientras que para el material con incorporación de 1%,2%,3% y 4% se obtuvo 5.24%, 5.58%, 5.32% y 5.55% respectivamente. La tesis mencionada demuestra que, debido a la ocasionalmente pobre calidad del agregado para afirmado, es que existen varias investigaciones que buscan la forma de mejorarlo obteniendo en este caso resultados óptimos.

Finalmente en la tesis titulada “Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base” realizada por (Laica, 2016), considera el análisis de las propiedades físico-mecánicas de la Sub Base para determinar si el material estudiado cumple con los parámetros establecidos por las normas AASHTO y ASTM. A partir de lo anterior, el autor realizó los ensayos de compactación, Proctor modificado y Relación de Soporte California CBR con la adición de caucho en distintos porcentajes y finalmente realizó una comparación de

los datos obtenidos tanto de la muestra en condiciones normales como de la muestra con adición de caucho. A partir de lo mencionado, se obtuvo como resultado que a medida que se va aumentando la proporción de caucho a la Sub Base, las propiedades mecánicas tienen una influencia negativa debido a que se van disminuyendo considerablemente, tal es el caso de la compactación ya que disminuyen los valores de contenido de humedad y la densidad seca; del mismo modo, en el CBR disminuye la resistencia. De la misma manera, el Ingeniero (Patiño, 2017) realizó una tesis denominada “Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado”, en la cual realizó ensayos de dos tipos de probetas, suelo en su estado natural y suelo incorporando caucho en distintos porcentajes (5%, 10% y 15%). Para determinar la resistencia, se realizó mediante el ensayo CBR, para obtener la densidad, se utilizó el ensayo Proctor Modificado, teniendo como punto de referencia la norma ASTM. Como conclusión tenemos que a partir de la prueba CBR, el autor considera que no se pudo lograr la estabilización esperada ya que el CBR disminuyó en un 23.91% con respecto a la prueba patrón. Por otro lado, se logró alivianar el material con la adición de caucho.

Es así que podemos decir que en la ingeniería y construcción de carreteras y caminos es complicado encontrar un material idóneo que nos brinde todas las características que buscamos tales como, resistencia mecánica, permeabilidad, resistencia a la abrasión, etc. Uno de los principales problemas de la construcción de carreteras y caminos es que nos topamos con suelos de composición especial que hace complicada su utilización, tal es el caso de la cantera “El Gavilán” ubicada en la carretera a la costa (N: 9198912.67; E: 779055.54; Z: 3250).

Por todo lo expuesto el presente trabajo se delimita a realizar un análisis de resistencia mecánica del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”, incorporando distintos

porcentajes de caucho granulado (3%, 5% y 7%) esperando que este aumente su resistencia mecánica.

### **Definición de suelo**

Para la ingeniería civil el término “suelo” se define como el depósito de partículas no cementadas de granos minerales materia orgánica descompuesta junto con líquido y gases los cuales ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas, el suelo es de gran importancia ya que forma parte del apoyo de las estructuras construidas por el hombre, además el suelo se usa como material de construcción si cumple con las características geotécnicas necesarias para su fin, de no cumplirlas se pueden usar métodos para mejorarse. (Campos Sigüenza & Vásquez Huamaní, 1992)

### **Estabilización de suelos**

En la construcción de pavimentos no es común encontrar suelos aptos para ser usados como terreno de fundación o material de construcción, por lo que se ha desarrollado métodos para mejorar las propiedades físicas y mecánicas denominando a estos procesos, estabilización de suelos, los cuales tienen como fin obtener un material de mejor calidad con cualidades capaces de soportar las condiciones bajo las cuales estará durante su tiempo de servicio.

La estabilización de suelos se puede clasificar en:

- Estabilización Física: Comprende en buscar una buena granulometría usando materiales granulares o cohesivos.
- Estabilización Mecánica: Implica el tratamiento y la compactación de los suelos para su densificación.
- Estabilización Química: Encierra los cambios que se le dan a las propiedades del suelo mediante el uso de agentes cementantes, ligantes asfálticos o humectantes para lograr una adecuada estabilidad.



**Afirmado:**

El Afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013).

Los ensayos que se realizaran al material a ser usado como afirmado para su control de calidad están establecidos por el Ministerio de transportes y comunicaciones, en el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para construcción (2013).

**Tabla 1:**

*Ensayos del material para Afirmado*

Material o producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de muestreo
<b>Afirmado</b>	Granulometría	MTC E 204	C 136	T27	1 cada 750 m <sup>3</sup>	<b>Cantera y pista</b>
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 750 m <sup>3</sup>	<b>Pista</b>
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 2.000 m <sup>3</sup>	<b>Cantera</b>
	CBR	MTC E 132	D 1883	T193	1 cada 2.000 m <sup>3</sup>	<b>Cantera</b>
	Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 750 m <sup>3</sup>	<b>Pista</b>
	Densidad-Humedad	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T191 T238	1 cada 250 m <sup>3</sup>	<b>Pista</b>

Fuente: MTC, 2013

### **Caucho:**

El caucho es un polímero elástico, cis-1,4-polisopreno, polímero del isopreno o 2-metilbutadieno.  $C_5H_8$  que surge como una emulsión lechosa (conocida como látex) en la savia de varias plantas, pero que también puede ser producido sintéticamente. La principal fuente comercial de látex son las euforbiáceas, del género *Hevea*, como *Hevea brasiliensis*. Otras plantas que contienen látex son el *Ficus* *Euphorbia* y el diente de león común. Se obtiene caucho de otras especies como *Urceola* elástica de Asia y la *Funtumia* elástica de África occidental. Hay que notar que algunas de estas especies como la *Gutta Percha* son isómeros trans que tienen la misma formulación química, es el mismo producto, pero con isometría diferente. Estas no han sido la fuente principal del caucho, aunque durante la Segunda Guerra Mundial,

hubo tentativas para usar tales fuentes, antes de que el caucho natural fuera suplantado por el desarrollo del caucho sintético.

En la actualidad el Hevea se cultiva en grandes plantaciones, en algunos casos propiedad de grandes industrias del neumático, en las que se utilizan injertos de variedades genéticamente modificadas para optimizar la producción de látex. Las zonas de mayor producción son China, México, Vietnam y Brasil. Hubo grandes plantaciones de Heveas en África tropical, Guinea, Liberia y Congo, pero actualmente el predominio de la producción pertenece al Sudeste asiático. (Davis Wada – EL RIO, 2014)

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la resistencia mecánica de un material para afirmado incorporando caucho en diferentes porcentajes (3%, 5% y 7%)?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la resistencia mecánica de un material para afirmado incorporando caucho en diferentes porcentajes (3%, 5% y 7%).

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas mecánicas del material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.
- Determinar la máxima densidad seca y resistencia mecánica del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” incorporándole 3%, 5% y 7% de caucho granulado.
- Establecer una comparación de la resistencia mecánica del material para afirmado sin adición de caucho con el material para afirmado con adición de caucho.

#### **1.4. Hipótesis**

- La resistencia mecánica del material para afirmado aumenta hasta en un 3% por cada 2% de caucho incorporado.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es experimental porque utiliza pruebas controladas para entender los procesos causales, es decir, una o más variables independientes (caucho) son manipuladas para determinar su efecto sobre una variable dependiente (resistencia mecánica de un material para afirmado).

### 2.2. Diseño de Investigación

La investigación es correlacional porque busca establecer la relación entre la adición de caucho y la resistencia del suelo para afirmado.

### 2.3. Variables de Estudio

**Independiente:** Porcentaje de Caucho: 3%, 5% y 7%

**Dependiente:** Resistencia mecánica

### 2.4. Población y muestra

a) **Población:** El material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.

b) **Muestra:** 04 muestras de material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.

### 2.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La recolección de datos tuvo como técnica la observación directa, usando como herramientas de recolección los formatos y protocolos de laboratorio UPN (ver anexo 01) y teniendo en cuenta la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Se realizaron ensayos al material sin agregar y agregando los diferentes porcentajes de caucho para poder determinar la resistencia mecánica del material para afirmando con caucho respecto del material para afirmado sin caucho; usándose siempre el material para afirmado de la cantera “El Gavilán”.

**Tabla 2:**

*Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos*

Ensayo de laboratorio	Fuente	Técnica	Instrumentos (Protocolo)
Granulometría	Material para afirmado	Observación directa	- AGTL-LS-UPNC
Limite liquido	Material para afirmado	Observación directa	- LP-LS-UPNC
Limite plástico	Material para afirmado	Observación directa	- LP-LS-UPNC
Desgaste de los agregados	Material para afirmado	Observación directa	- ALA-LC-UPNC
Resistencia de los suelos	Material para afirmado	Observación directa	- CBR-LS-UPNC

Después de la recolección de datos mediante la observación directa y utilizando los formatos y protocolos de laboratorio UPN, pasamos a procesar una base de datos en Excel, teniendo en cuenta las normativas y formulas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y las normas técnicas vigentes que rigen los ensayos de laboratorio de suelos para tener resultados confiables, posterior a ello y habiendo hecho los cálculos de forma correcta se deberá elaborar tablas o gráficos que nos permitan establecer similitudes o diferencias entre los ensayos realizados para el material y los diferentes porcentajes de caucho que se le incorpore.

## 2.6. Procedimiento

### 2.6.1. Clasificación de los suelos

Para la clasificación de los suelos tenemos diversos sistemas de clasificación siendo los más comunes: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el American Association of State Highway Officials (AASHTO).

De acuerdo con la norma ASTM D2487 la cual tomo al Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) como parte de sus métodos normalizados, nos muestra que para este sistema usaremos los siguientes símbolos de grupo consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En la tabla N°3 se muestran dichos símbolos y su significación:

**Tabla 3:**

*Clasificación de suelos SUCS*

Símbolo		Características generales	
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
GP		(Finos<5%)	Pobremente graduadas
GM		Con finos	Componente limoso
GC		(Finos>12%)	Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
SP		(Finos<5%)	Pobremente graduadas
SM		Con finos	Componente limoso
SC		(Finos>12%)	Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH	ORGÁNICOS	Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: ASTM D 2487, 2004

Uno de los sistemas más usados en carreteras es la empleada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y que fue originalmente desarrollada por los ilustres geotécnicos Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano.

Inspirada en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el A-1 hasta el A-7. A su vez, algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así, el A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2, cuatro.

Los únicos ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo (IG), expresado como un número entero con un valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz #200 ASTM (0.080 UNE):

**Ecuación 1. Índice de grupo**

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01b - d \dots\dots\dots (1)$$

En donde:

**a:** Porcentaje en exceso sobre 35, de suelo que pasa por dicho tamiz, sin pasar de 75. Se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40.

**b:** Porcentaje en exceso sobre 15, de suelo que atraviesa el tamiz, sin superar un valor de 55. Es un número entero que oscila entre 0 y 40.

**c :** Exceso de límite líquido (LL) sobre 40, y nunca superior a 60. Se expresa como un número entero comprendido entre 0 y 20.

**d:** Exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, nunca superior a 30. Es también un número entero positivo comprendido entre 0 y 20.



En la página siguiente se muestra la tabla de clasificación de suelos AASHTO, en la que se recogen todas las características exigibles a cada grupo y subgrupo para clasificar un suelo.

Tabla 4:

Clasificación de suelos AASHTO

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
	Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
	Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO		0	0	0	≤ 4			≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA		Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD		EXCELENTE A BUENA					ACEPTABLE A MALA						

Fuente: ASTM D 3282, 2004

Así entonces; podemos decir que el material en estudio tiene una clasificación según SUCS, GC (grava con componentes arcillosos) y según AASHTO, A-2-4 (material granular de buena calidad con gravas y arenas arcillosas).

### **2.6.2. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos MTC E204-2000**

#### **a) Objetivo del ensayo**

- Determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.
- Se determina la distribución de los tamaños de las partículas de una muestra seca del agregado, por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura.
- La determinación exacta de materiales que pasan el tamiz de  $75\ \mu\text{m}$  (No. 200) no puede lograrse mediante este ensayo. El método de ensayo que se debe emplear será: "Determinación de la cantidad de material fino que pasa el tamiz de  $75\ \mu\text{m}$  (No. 200)", norma MTC E202.

#### **b) Aparatos y materiales**

- Balanza, con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra que va a ser ensayada.
- Tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.
- Estufa de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

#### **c) Preparación de la muestra**

- Séquese la muestra a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), hasta obtener peso constante.

*Nota 1. Cuando se deseen resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para este ensayo, debido a que el resultado se afecta poco por el contenido de humedad a menos que:*

- *El tamaño máximo nominal sea menor de 12.5 mm (1/2")*
- *El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menores de 4.75 mm (No. 4).*
- *El agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo, un agregado ligero).*
- *También las muestras pueden secarse con las más altas temperaturas asociadas con el uso de planchas de calentamiento, sin que se afecten los resultados, pues se permiten escapes de vapores que no generan presiones suficientes para fracturar las partículas, ni temperaturas tan altas que causen rompimiento químico de los agregados.*

#### **d) Procedimiento**

- Selecciónese un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar. Colóquense los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura. Efectúese la operación de tamizado a mano o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.
- Limítese la cantidad de material en un tamiz dado, de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.

El peso retenido en tamices menores al de 4.75 mm (No. 4) cuando se complete la operación de tamizado, no debe ser mayor de 7 kg/m<sup>2</sup> de superficie tamizada.

Para tamices de 4.75 mm (No. 4) y mayores, el peso en kg/m<sup>2</sup> por superficie de tamizado no excederá el producto de 2.5 x abertura del tamiz (mm).

En ningún caso, el peso debe ser tan grande que cause deformación permanente en la malla del tamiz.

***Nota 2** La cantidad de  $7 \text{ kg/m}^2$  equivale a 200 g para el diámetro usual de 203 mm (8") de los marcos de los tamices. La cantidad de material en un tamiz puede regularse por:*

*La introducción de un tamiz con abertura más grande antes este.*

**e) Probando la muestra en un número de incrementos.**

- Continúese el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un (1) minuto de tamizado continuo a mano, realizado de la siguiente manera: tómese individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo que ajuste sin holgura, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Se golpea secamente el lado del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente  $1/6$  de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. Se considerará satisfactorio el tamizado para tamaños mayores al tamiz de 4.75 mm (No. 4), cuando el total de las partículas del material sobre la malla forme una sola capa. Si el tamaño de los tamices hace impracticable el movimiento de tamizado recomendado, utilícense tamices de 203 mm (8") de diámetro para comprobar la eficiencia del tamizado.
- En el caso de mezclas de agregados gruesos y finos, la porción de muestra más fina que el tamiz de 4.75 mm (No. 4) puede distribuirse entre dos o más grupos de tamices para prevenir sobrecarga de los tamices individuales.
- Para partículas mayores de 75 mm (3"), el tamizado debe realizarse a mano, determinando la abertura del tamiz más pequeño por el que pasa la partícula.

Comiencese el ensayo con el tamiz más pequeño que va a ser usado. Rótense las partículas si es necesario, con el fin de determinar si ellas pasarán a través de dicho tamiz; sin embargo, no deberán forzarse las partículas para que pasen a través de éste. Cuando sea necesario determinar la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 mm (No. 200), se ensayará primero la muestra de acuerdo con la norma citada. Se añade el porcentaje de material más fino que el tamiz de 75 mm (No. 200) determinado por el mencionado método, al porcentaje tamizado sobre este mismo tamiz, determinado en el resto de la muestra, cuando se ensaye en seco mediante el presente método.

- Determinése el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza.

El peso total del material después del tamizado debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó. Si la cantidad difiere en más del 0.3%, basado en el peso de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.

### **2.6.3. Determinación del límite líquido de los suelos MTC E 110-2000**

#### **a) Objetivo del ensayo**

- El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.
- El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

#### **b) Aparatos y materiales**

- Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½”) de diámetro aproximadamente.
- Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3” – 4”) de longitud y 20 mm (¾”) de ancho aproximadamente.
- Aparato del límite líquido (o de Casagrande).

De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones estandarizadas.

y operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

- Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas estandarizadas.
- Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de  $10.00 \pm 0.2$  mm ( $0.394'' \pm 0.008''$ ) de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Estufa. Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F) para secar la muestra.

#### **2.6.4. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad MTC E 111–2000**

##### **a) Objetivo del ensayo**

- Es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.
- Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la

palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

**b) Aparatos y materiales**

- Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 ½") de diámetro.
- Balanza, con aproximación a 0.01 g.
- Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F).
- Tamiz, de 426  $\mu\text{m}$  (N° 40).
- Agua destilada.
- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

**c) Procedimiento**

- Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo:

En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.



- La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.

- Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en los tres primeros pasos.

#### **2.6.5. Abrasión los ángeles (L.A) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") MTC E 207 – 2000**

##### **a) Objetivo del ensayo**

- Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de Los Ángeles.
- El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.

##### **b) Aparatos y materiales**

- Balanza, que permita la determinación del peso con aproximación de 1 g.
- Estufa, que pueda mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F).
- Tamices.
- Máquina de Los Ángeles: Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de  $508 \pm 5$  mm ( $20 \pm 0.2$ ") y un diámetro, también interior, de  $711 \pm 5$  mm ( $28 \pm 0.2$ ").
- Carga abrasiva. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16") y 47.63 mm (1 7/8") y un peso comprendido entre 390 g y 445 g.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según se indica en las siguientes tablas:

**Tabla 5:**

*Carga abrasiva y granulometría para Abrasión los Ángeles*

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (g)			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37,5	(1 1/2")	25,0	(1")	1250 ± 25			
25,0	(1")	19,0	(3/4")	1250 ± 25			
19,0	(3/4")	12,5	(1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5	(1/2")	9,5	(3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5	(3/8")	6,3	(1/4")			2500 ± 10	
6,3	(1 1/4")	4,75	(N° 4)			2500 ± 10	
4,75	(N° 4)	2,36	(N° 8)				5000 ± 10

Fuente: MTC, 2000

**Tabla 6:**

*Peso y granulometría de la muestra para ensayo*

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso Total g
A	12	5000 ± 25
B		4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: MTC, 2000

### c) Procedimiento

- La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz # 12. La fracción fina que pasa se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No. 12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No. 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C (221 a 230 °F), hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1 g.

- Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original.

#### **2.6.6. CBR de suelos (laboratorio) MTC- E 132-2000**

##### **a) Objetivo del ensayo**

- Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.
- Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub base y de afirmado.
- Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado.

##### **b) Aparatos y materiales**

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen.
- Molde, de metal, cilíndrico, de  $152,4\text{ mm} \pm 0,66\text{ mm}$  ( $6 \pm 0,026''$ ) de diámetro interior y de  $177,8 \pm 0,46\text{ mm}$  ( $7 \pm 0,018''$ ) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de  $50,8\text{ mm}$  ( $2,0''$ ) de altura y una placa de base perforada de  $9,53\text{ mm}$  ( $3/8''$ ) de espesor.
- Disco espaciador, de metal, de forma circular, de  $150,8\text{ mm}$  ( $5\ 15/16''$ ) de diámetro exterior y de  $61,37 \pm 0,127\text{ mm}$  ( $2,416 \pm 0,005''$ ) de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

- Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).
- Aparato medidor de expansión compuesto por:
  - Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro.
  - Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001")
- Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de  $4,54 \pm 0,02\text{kg}$  y pesas ranuradas de metal cada una con masas de  $2,27 \pm 0,02\text{ kg}$ .
- Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular
- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0.025 mm (0.001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0.1 g, respectivamente.
- Tamices, de 4.76 mm (No. 4), 19.05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").
- Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

### c) **Procedimiento**

Este procedimiento consta de 3 fases:

- Ensayo de compactación CBR (determinación de la densidad y húmeda del suelo)

Preparar la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado.

Compactar la muestra con 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 13 golpes, el segundo con 27 golpes y el tercero con 56 golpes por capa.

Determinar la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras en cada molde.

Determinar la densidad seca de las muestras de cada molde.

- Ensayo de hinchamiento (determinación de las propiedades expansivas del material)

Invertir las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.

Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.

Colocar los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.

- Ensayo carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración)

Después de los 4 días sacar los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejarlos drenar durante 15 minutos.

Colocar la sobrecarga en cada molde, llevar a la prensa hidráulica, proceder al ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulga/min, registrar las lecturas de carga de cada muestra en las siguientes lecturas de penetración.

**Tabla 7:**

*Lecturas del CBR*

Lecturas de penetración - CBR	
Pulgadas	Milímetros
0.000	0.000
0.025	0.640
0.050	1.270
0.075	1.910
0.100	2.540
0.125	3.180
0.150	3.810
0.175	4.450
0.200	5.080
0.250	6.350
0.300	7.620
0.350	8.890
0.400	10.160
0.450	11.430
0.500	12.700

Fuente: MTC, 2000

## 2.6.7. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie<sup>3</sup> [2 700 kN-m/m<sup>3</sup>]) MTC E 115-2000

### a) Resumen del método

Un suelo con un contenido de Humedad determinado es colocado en 5 capas dentro de un molde de ciertas dimensiones, cada una de las capas es compactada en 25 o 56 golpes con un pisón de 10 lbf (44.5 N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>). Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del Suelo. Estos datos, cuando son graficados, representan una relación curvilínea conocida como curva de Compactación. Los valores de Optimo Contenido de Agua

y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

#### **b) Importancia y uso**

El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es práctica común, primero determinar el óptimo contenido de humedad ( $w_o$ ) y el Peso Unitario Seco ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ) mediante un ensayo de compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado ( $w$ ), sea del lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) o al óptimo ( $w_o$ ) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ). La selección del contenido de agua ( $w$ ), sea del lado húmedo o seco del óptimo ( $w_o$ ) o al óptimo ( $w_o$ ), y el Peso Unitario Seco ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

**c) Aparatos**

- Ensamblaje del molde.
- Molde de 4 pulgadas.
- Molde de 6 pulgadas
- Pisón o Martillo
- Pisón Manual
- Pisón Mecánico Circular.
- Pisón Mecánica – Cara Seccionada
- Extracto de Muestras
- Balanza
- Horno de secado
- Rebla
- Tamices o Mallas
- Herramientas de Mezcla



## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Contenido de humedad

**Tabla 8:**

*Ensayo de contenido de humedad del afirmado de la cantera "El Gavilán"*

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		T-1	T-2	T-3
B	Peso del Recipiente	gr	37.10	39.00	39.20
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	492.70	496.00	501.90
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	485.40	488.80	493.40
E	Peso del suelo húmedo $W_w = C - B$	gr	455.60	457.00	462.70
F	Peso Suelo Seco $W_s = D - B$	gr	448.30	449.80	454.20
W%	Porcentaje de humedad $(E / F) * 100$	%	1.63	1.60	1.87
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		<b>1.70</b>	

Mediante el ensayo de contenido de humedad se determinó que el material para afirmado de la cantera “El Gavilán” tiene un contenido de humedad del 1.70% en estado natural.

### 3.2. Abrasión los Ángeles

**Tabla 9:**

*Desgaste a la abrasión*

DESGASTE A LA ABRASIÓN				
ID	DESCRIPCIÓN	UNI	1	
A	Peso muestra total	gr.	5,016.00	
B	Peso retenido en el tamiz N° 12	gr.	3,387.10	
D	Desgaste a la abrasión de los Ángeles $D = (A - B) * 100 / A$	%	32.47	

Mediante el ensayo de abrasión de los ángeles se determinó que la resistencia a la abrasión del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” es de 32.47% estando dentro de los requisitos mínimos de un material para afirmado siendo el máximo valor para abrasión de los ángeles 50%.

### 3.3. Límites

**Tabla 10:**

*Determinación del límite líquido*

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	Nº	T-4	T-5	T-6	T-7	-
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	51.00	59.90	53.70	48.40	-
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	47.80	55.20	50.00	45.40	-
D	Peso Recipiente	gr	26.40	26.20	26.80	27.50	-
E	Peso del Agua	gr	3.20	4.70	3.70	3.00	-
F	Peso Suelo Seco	gr	21.40	29.00	23.20	17.90	-
G	Número de Golpes	N	27	21	15	9	-
H	Contenido de Humedad	%	11.50	11.62	11.59	11.68	-

Mediante el ensayo de límites de Atterberg se determinó que el límite líquido para el material para afirmado de la cantera “El Gavilán” es de 11.60% estando dentro de los parámetros establecidos por el MTC siendo el valor máximo 35%

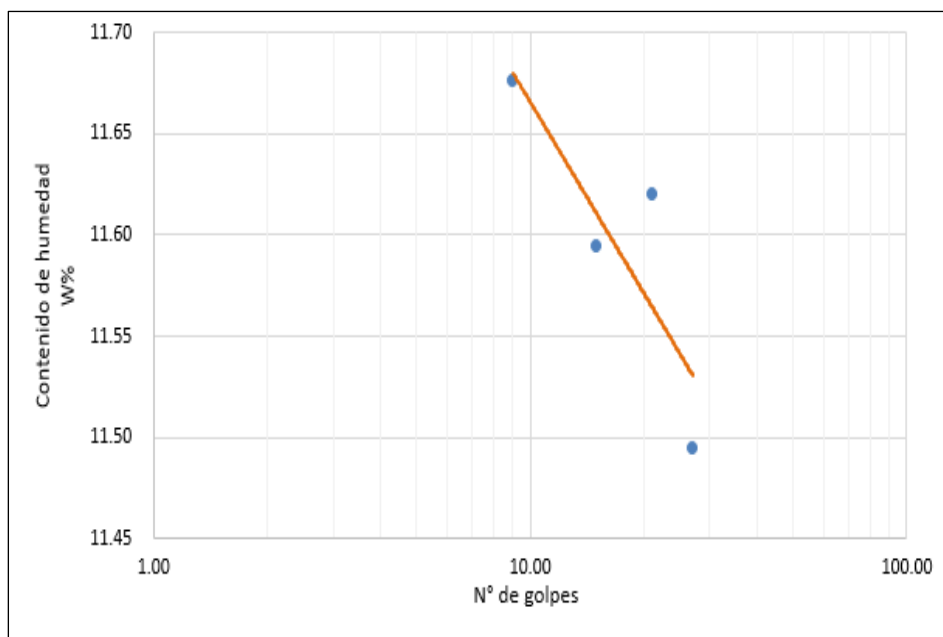


Gráfico 1: Límite líquido

**Tabla 11:**

*Determinación del límite plástico*

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) - NP						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4 5
A	Identificación de Recipiente	Nº				
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr				
C	Suelo Seco + Recipiente	gr				
D	Peso Recipiente	gr				
E	Peso del Agua	gr				
F	Peso Suelo Seco	gr				
G	Contenido de Humedad	%				
H	Promedio Límite Plástico					

El material en estudio no presenta límite plástico por ser un material granular para afirmado

### 3.4. Granulometría

**Tabla 12:**

*Análisis granulométrico*

Cazoleta		10000
Peso seco fino	Inicial (gr.)	500
	Final (gr.)	347.2
Pasante de la N°200 (gr.)		152.8

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	%Retenido acumulado	% Que pasa
1"	25.40	733.80	7.338	7.338	92.662

3/4"	19	948.40	9.484	16.822	83.178
1/2"	12.50	1364.70	13.647	30.469	69.531
3/8"	9.50	958.20	9.582	40.051	59.949
N°40	4.75	1897.50	18.975	59.026	40.974
N°10	2.00	127.50	10.448	69.474	30.526
N°20	0.85	48.40	3.966	73.441	26.559
N°40	0.430	13.60	1.114	74.555	25.445
N°60	0.25	53.40	4.376	78.931	21.069
N°100	0.15	62.20	5.097	84.028	15.972
N°200	0.08	29.80	2.442	86.470	13.530
Cazoleta	-	152.80	12.522	99.000	1.000

Después de realizado el ensayo granulométrico del material en estudio se determinó que está dentro de una gradación tipo A-1 según el MTC. Siendo propicio para el fin para el que se lo requiere, afirmado.

En el siguiente gráfico, se puede apreciar la gradación del material de la cantera “El Gavilán”, así mismo los husos granulométricos correspondientes a la gradación A-1.

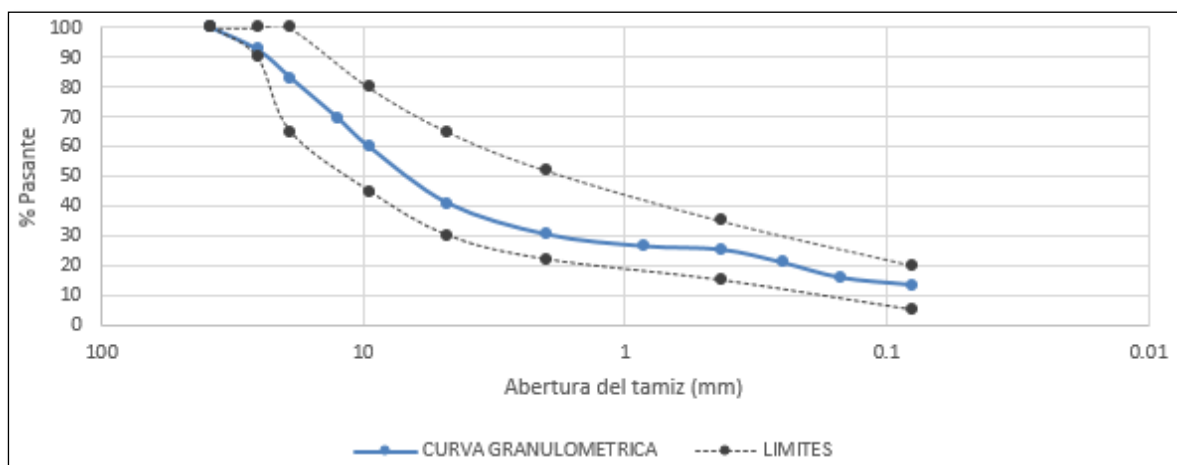


Gráfico 2: Curva granulométrica

### 3.5. Proctor Patrón

**Tabla 13:**

*Proctor modificado- Afirmado Patrón*

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4
A	Peso Molde	gr	6500.00	6500.00	6500.00	6500.00
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	11271.00	11317.00	11416.00	11473.00
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4771.00	4817.00	4916.00	4973.00

D	Volumen Muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm <sup>3</sup>	2.33	2.35	2.40	2.43				
G	Recipiente	Nº	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	26.70	27.40	26.70	26.40	27.30	26.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	99.20	122.90	114.60	118.00	136.70	130.10	149.50	134.80
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	97.90	119.70	111.80	115.20	131.80	125.60	140.80	127.30
K	Peso del Agua	gr	1.30	3.20	2.80	2.80	4.90	4.50	8.70	7.50
L	Peso Muestra seca	gr	70.60	92.00	85.10	87.80	105.10	99.20	113.50	101.00
M	Contenido de Humedad W%	%	1.84	3.48	3.29	3.19	4.66	4.54	7.67	7.43
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	2.66		3.24		4.60		7.55	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm <sup>3</sup>	2.27		2.28		2.29		2.26	

Con el ensayo de Proctor modificado se logró determinar el óptimo contenido de humedad para el material para afirmado de la cantera “El Gavilán” siendo 5.35% para la muestra patrón.

En el gráfico a continuación se observa la curva de compactación de la muestra patrón.

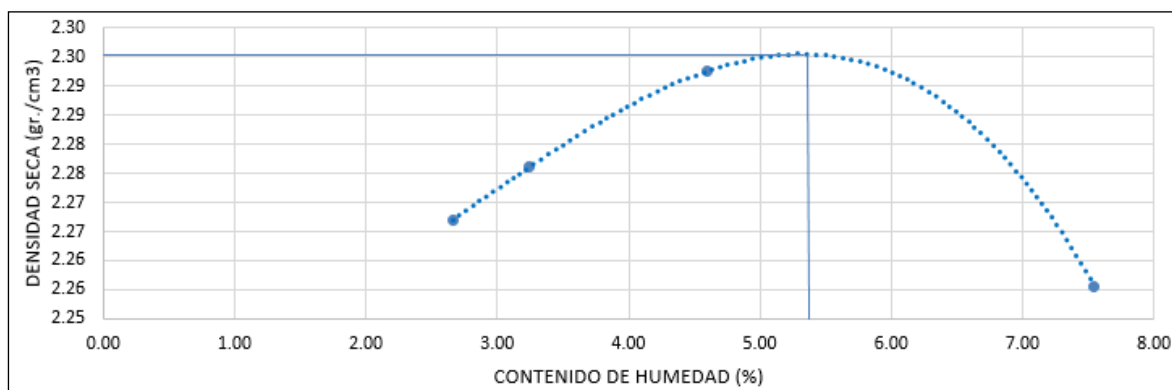


Gráfico 3: Óptimo contenido de humedad del afirmado patrón

### 3.6. Proctor + 3% de caucho

Tabla 14:

Proctor modificado- Afirmado con 3% de caucho

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Peso Molde	gr	6500.00	6500.00	6500.00

B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	11065.00	11155.00	11264.00	11310.00				
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4565.00	4655.00	4764.00	4810.00				
D	Volumen Muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00				
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm <sup>3</sup>	2.23	2.27	2.32	2.35				
G	Recipiente	Nº	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	26.70	27.40	26.70	26.40	26.30	26.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	115.50	122.20	121.80	145.70	141.50	129.80	140.70	128.10
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	113.70	119.60	118.30	140.50	134.60	123.80	131.90	119.50
K	Peso del Agua	gr	1.80	2.60	3.50	5.20	6.90	6.00	8.80	8.60
L	Peso Muestra seca	gr	86.40	91.90	91.60	113.10	107.90	97.40	105.60	93.20
M	Contenido de Humedad W%	%	2.08	2.83	3.82	4.60	6.39	6.16	8.33	9.23
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	2.46		4.21		6.28		8.78	
O	Densidad Seca Máxima; Ds	gr/cm <sup>3</sup>	2.17		2.18		2.19		2.16	

Con el ensayo de Proctor modificado de logro determinar el óptimo contenido de humedad para el material para afirmado de la cantera “El Gavilán” siendo 6.3% para la muestra con 3% de adición de caucho.

En el gráfico a continuación se observa la curva de compactación de la muestra de afirmado más el 3% de caucho.

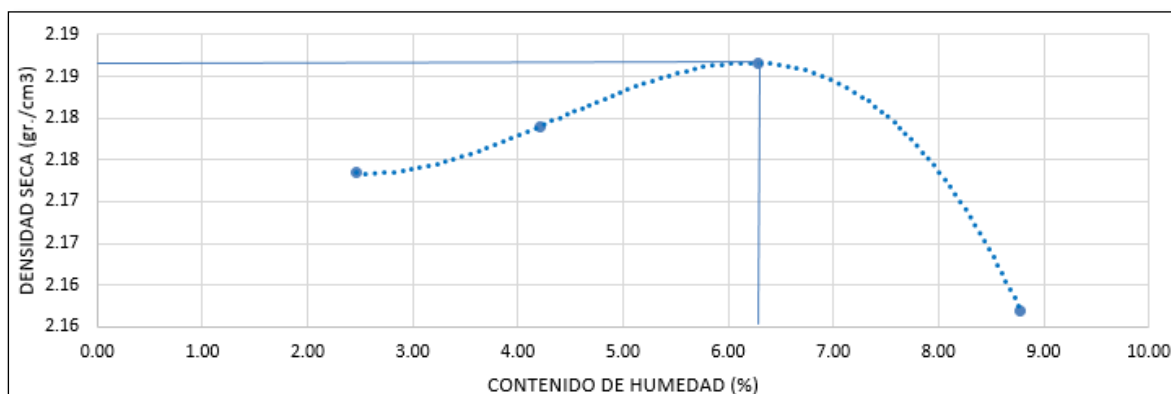


Gráfico 4: Óptimo contenido de humedad del afirmado + 3% de caucho

### 3.7. Proctor + 5% de caucho

Tabla 15:

Proctor modificado- Afirmado con 5% de caucho

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4			
A	Peso Molde	gr	6500.00	6500.00	6500.00	6500.00			
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10966.00	11043.00	11179.00	11220.00			
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4466.00	4543.00	4679.00	4720.00			
D	Volumen Muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00			
F	Densidad húmeda; <b>Dh</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.18	2.22	2.28	2.30			
G	<b>Recipiente</b>	Nº	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>	<b>T-4</b>	<b>T-5</b>	<b>T-6</b>	<b>T-7</b>
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	26.70	27.40	26.70	26.40	26.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	130.00	117.40	131.20	121.10	132.90	146.90	150.60
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	127.50	114.50	127.00	117.10	127.00	139.80	141.00
K	Peso del Agua	gr	2.50	2.90	4.20	4.00	5.90	7.10	9.60
L	Peso Muestra seca	gr	100.20	86.80	100.30	89.70	100.30	113.40	114.70
M	Contenido de Humedad W%	%	2.50	3.34	4.19	4.46	5.88	6.26	8.37
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	2.92		4.32		6.07		8.16
O	Densidad Seca Máxima; <b>Ds</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.12		2.12		2.15		2.13

Con el ensayo de Proctor modificado de logro determinar el óptimo contenido de humedad para el material para afirmado de la cantera “El Gavilán” siendo 6.65% para la muestra con 5% de adición de caucho.

En el gráfico a continuación se observa la curva de compactación de la muestra de afirmado más el 5% de caucho.

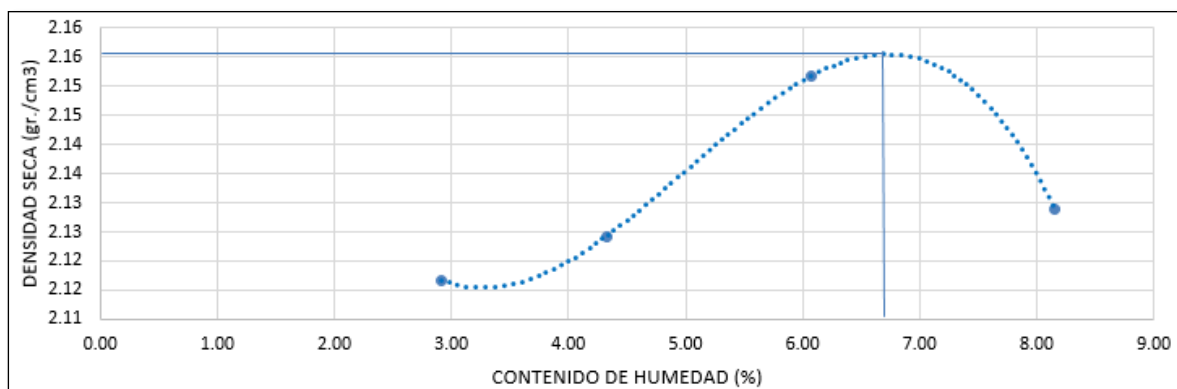


Gráfico 5: Óptimo contenido de humedad del afirmado + 5% de caucho

### 3.8. Proctor + 7% de caucho

Tabla 16:

Proctor modificado- Afirmado con 7 % de caucho

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4			
A	Peso Molde	gr	6500.00	6500.00	6500.00	6500.00			
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10808.00	10896.00	10977.00	11081.00			
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4308.00	4396.00	4477.00	4581.00			
D	Volumen Muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00			
F	Densidad húmeda; <b>Dh</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.10	2.14	2.18	2.23			
G	<b>Recipiente</b>	Nº	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>	<b>T-4</b>	<b>T-5</b>	<b>T-6</b>	<b>T-7</b>
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	26.70	27.40	26.70	26.40	26.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.30	136.70	125.40	128.30	139.80	113.70	138.30
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	129.40	133.43	120.87	123.70	133.27	108.54	129.47
K	Peso del Agua	gr	2.90	3.27	4.53	4.60	6.53	5.16	8.83
L	Peso Muestra seca	gr	102.10	105.73	94.17	96.30	106.57	82.14	103.17
M	Contenido de Humedad W%	%	2.84	3.09	4.81	4.78	6.13	6.28	8.56
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	2.97		4.79		6.20		9.35
O	Densidad Seca Máxima; <b>Ds</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.04		2.05		2.06		2.04

Con el ensayo de Proctor modificado se logró determinar el óptimo contenido de humedad para el material para afirmado de la cantera “El Gavilán” siendo 7.45% para la muestra con 7% de adición de caucho.

En el gráfico a continuación se observa la curva de compactación de la muestra de afirmado más el 7% de caucho.

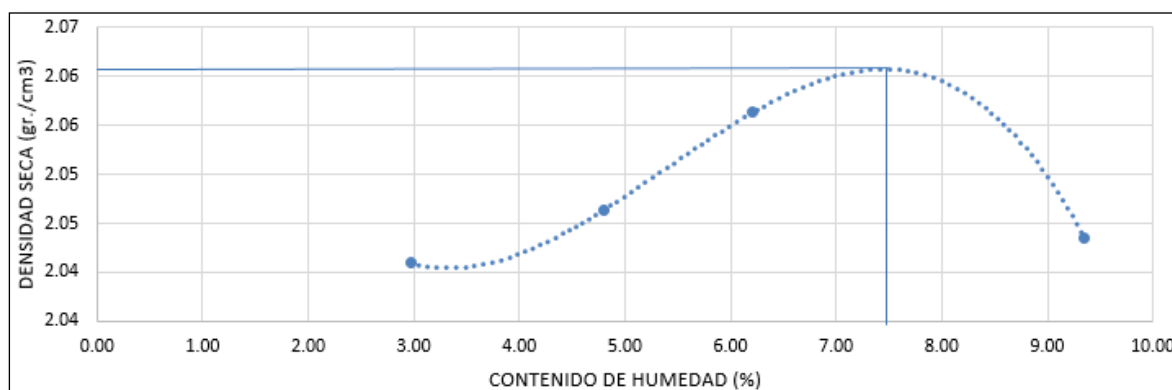


Gráfico 6: Óptimo contenido de humedad del afirmado +7% de caucho

### 3.9. California Bearing Ratio (CBR) – Afirmado Patrón

**Tabla 17:**

*Esfuerzos para 0.1" de penetración- Afirmado Patrón*

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA
Bach. Diego Fernando Cubas Castro



Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	290.83	437.10	569.04
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000.00	1000.00	1000.00
CBR (%)	29.08	43.71	56.90
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	2.10	2.15	2.33

Del ensayo CBR para la muestra patrón de afirmado de la cantera “El Gavilán” tenemos un 55.63% lo que lo hace un material óptimo para su fin siendo el mínimo 40% establecido por el MTC.

En la gráfica siguiente podemos observar la máxima densidad seca Vs. El CBR%

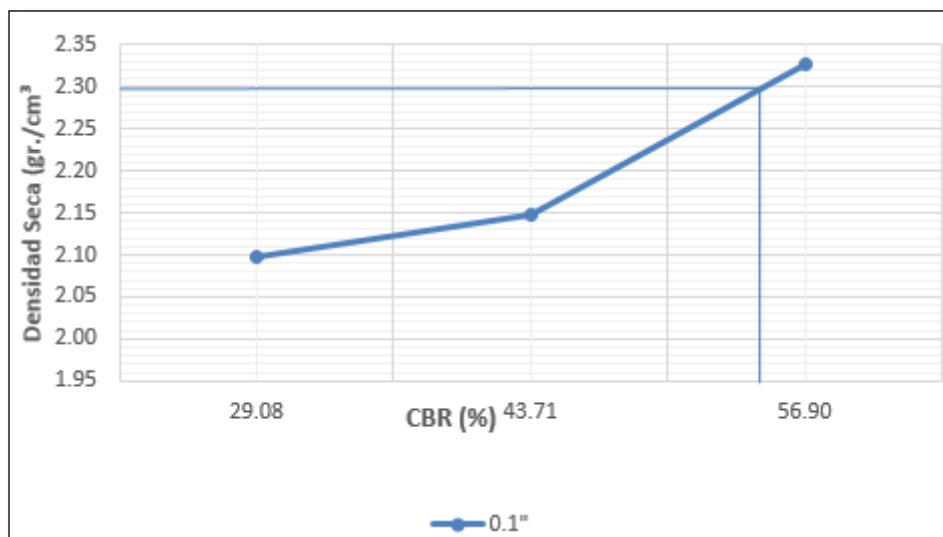


Gráfico 7: Curva Esfuerzo - Penetración del afirmado patrón

### 3.10. California Bearing Ratio (CBR) – Afirmado + 3% de Caucho

Tabla 18:

Esfuerzos para 0.1" de penetración- Afirmado + 3% de caucho

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	152.87	217.83	345.86
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000.00	1000.00	1000.00
CBR (%)	15.29	21.78	34.59
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	2.16	2.27	2.53

Del ensayo CBR para la muestra de afirmado de la cantera “El Gavilán” con 3% de adición de caucho tenemos un 16.50% lo que lo hace un material no utilizable para su fin siendo el mínimo 40% establecido por el MTC.

En el gráfico siguiente podemos observar la máxima densidad seca Vs. El CBR%

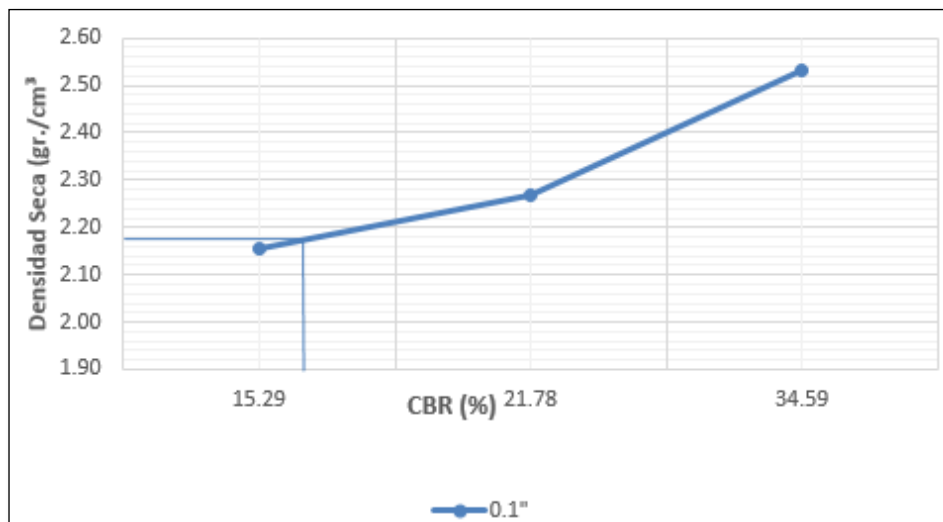


Gráfico 8: Curva Esfuerzo - Penetración del afirmado + 3% de caucho

### 3.11. California Bearing Ratio (CBR) – Afirmado + 5% de Caucho

**Tabla 19:**

*Esfuerzos para 0.1" de penetración- Afirmado + 5% de caucho*

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg²)	105.10	181.62	243.63
Esfuerzo patrón (lb/pulg²)	1000.00	1000.00	1000.00
CBR (%)	10.51	18.16	24.36
Ds (gr/cm³)	2.09	2.223	2.462

Del ensayo CBR para la muestra de afirmado de la cantera “El Gavilán” con 5% de adición de caucho tenemos un 13.91% lo que lo hace un material no utilizable para su fin siendo el mínimo 40% establecido por el MTC.

En el gráfico siguiente podemos observar la máxima densidad seca Vs. El CBR%

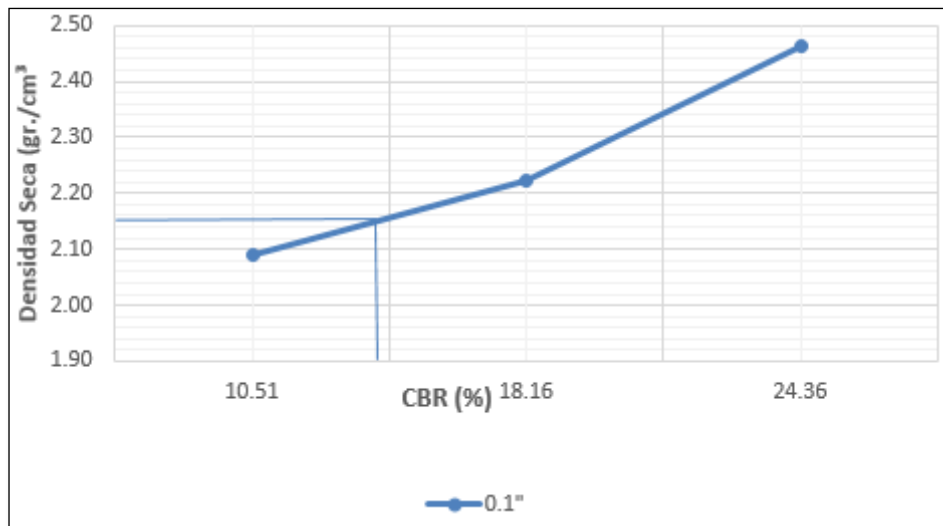


Gráfico 9: Curva Esfuerzo - Penetración del afirmado + 5% de caucho

### 3.12. California Bearing Ratio (CBR) – Afirmado + 7% de Caucho

**Tabla 20:**

*Esfuerzos para 0.1" de penetración- Afirmado + 7% de caucho*

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	75.48	170.06	219.75
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000.00	1000.00	1000.00
CBR (%)	7.55	17.01	21.97
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	2.03	2.28	2.35

Del ensayo CBR para la muestra de afirmado de la cantera “El Gavilán” con 7% de adición de caucho tenemos un 8.80% lo que lo hace un material no utilizable para su fin siendo el mínimo 40% establecido por el MTC.

En el gráfico siguiente podemos observar la máxima densidad seca Vs. El CBR%

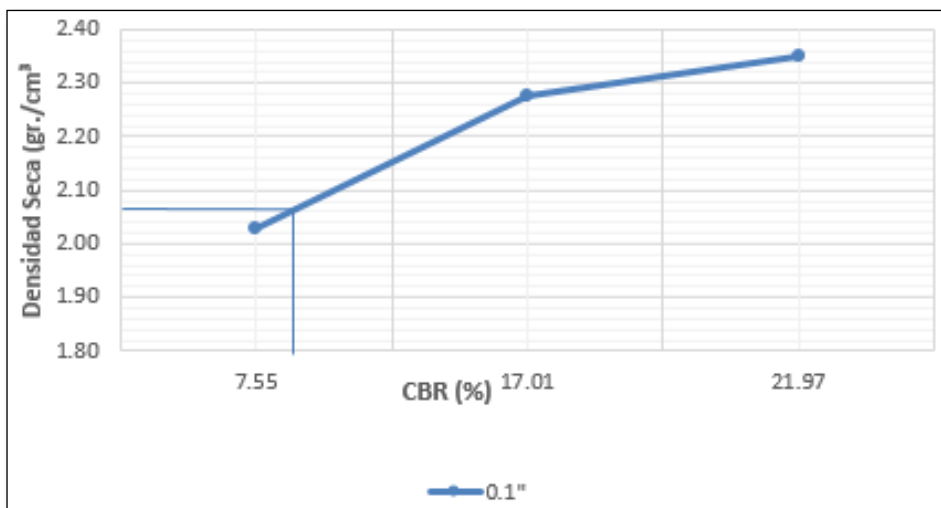


Gráfico 10: Curva Esfuerzo - Penetración del afirmado + 7% de caucho

### 3.13. Resumen de resultados

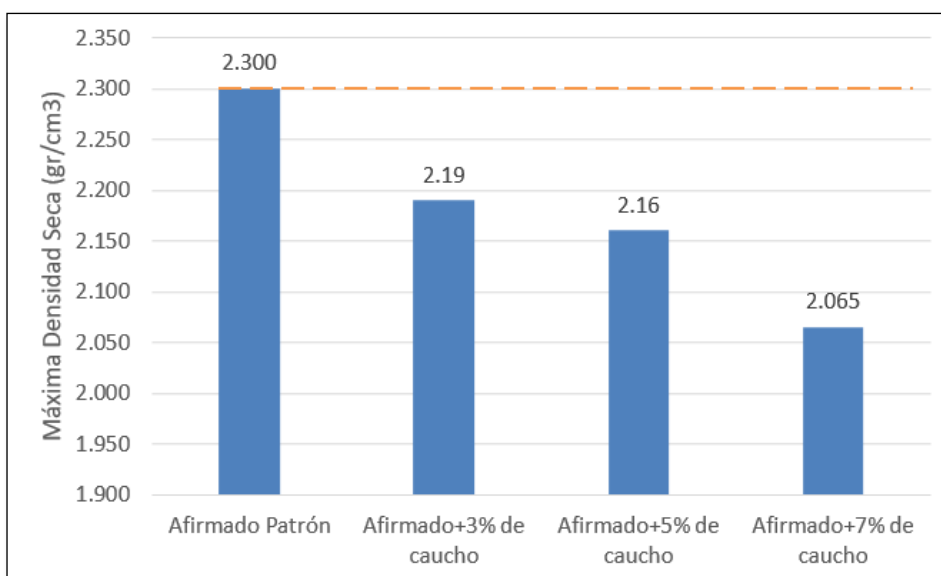


Gráfico 11: Resultados máxima Densidad seca

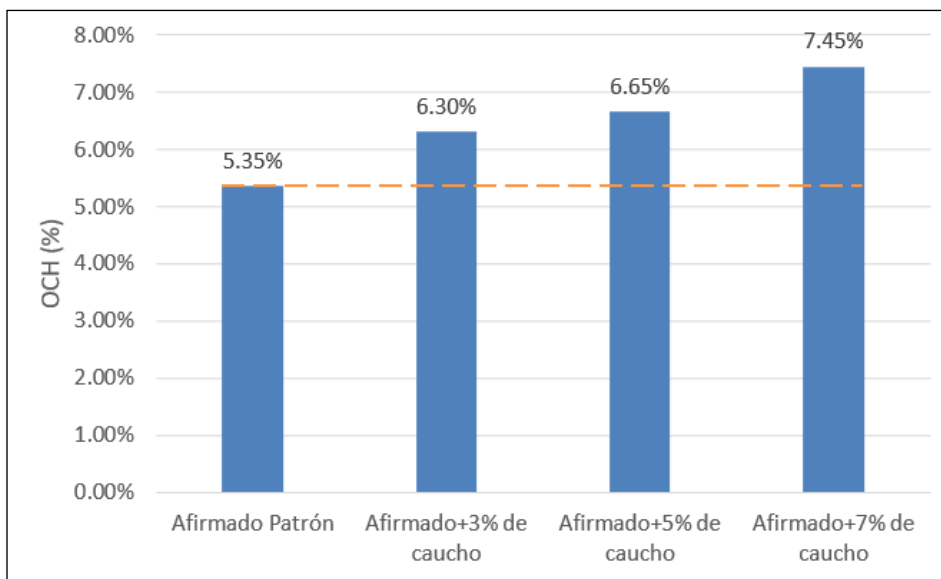


Gráfico 12: Resultados Óptimo contenido de humedad

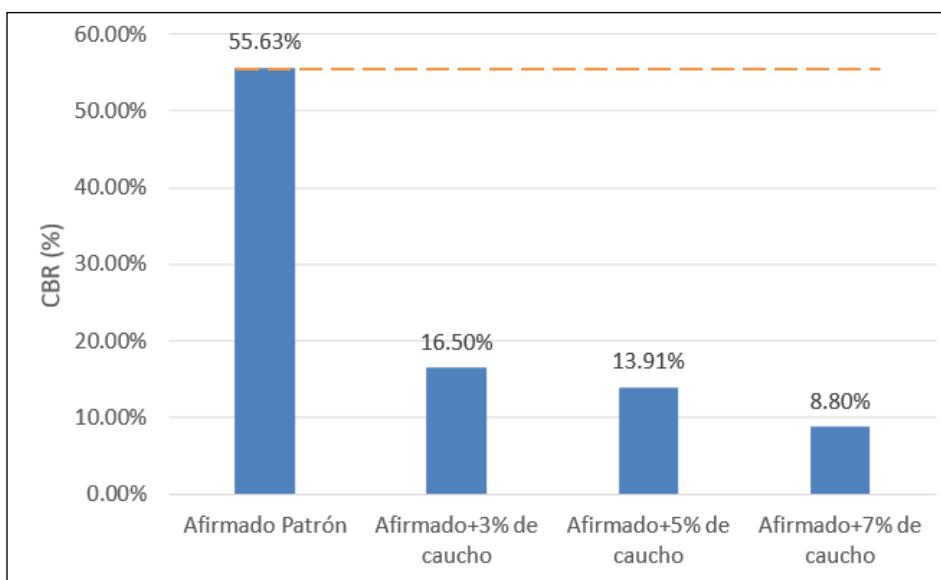


Gráfico 13: Resultados CBR (100% Ds máx)

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

En la investigación titulada “Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras” (Mateos, 2016) En la ciudad de Cimbra- España, se estudió el efecto de cuatro niveles de cloruro de calcio (0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%). Para la evaluación de las propiedades mecánicas de cada incorporación se realizó ensayos de CBR los resultados fueron que al adicionar cloruro de calcio aumenta la densidad seca, por lo tanto, se incrementa la capacidad portante, de igual manera en la tesis titulada “Mejoramiento de las propiedades Físico -Mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con Óxido de Calcio” elaborada por (Surichaqui, 2017) se concluye que la estabilización química con óxido de calcio influye positivamente en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, aumentando el valor de CBR de un 4.85% a un valor de 15.64% posterior a su estabilización; a diferencia de la presente investigación que se determinó que el caucho disminuye la densidad seca y por lo tanto su capacidad portante, siendo los valores de densidad:  $2.3 \text{ gr/cm}^3$  para el afirmado patrón y  $2.19 \text{ gr/cm}^3$ ,  $2.16 \text{ gr/cm}^3$  y  $2.065 \text{ gr/cm}^3$  para 3%, 5% y 7% de incorporación de caucho respectivamente. Por otra parte (Rivera & Medina 2016) en su tesis titulada “Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1%,2%,3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado” en Cajamarca- Perú. se pudo observar que el óptimo contenido de humedad disminuyo al incorporar cloruro de calcio siendo el de la muestra patrón 6.10% mientras que para el material con incorporación de 1%,2%,3% y 4% se obtuvo 5.24%, 5.58%, 5.32% y 5.55% respectivamente; a diferencia de esta investigación en el cual se obtuvo un incremento en el óptimo contenido de humedad dando como resultado 5.35% para la muestra patrón; 6.30%, 6.65% y 7.45% para 3%, 5% y 7% de adición de caucho respectivamente. Sin embargo, en la tesis titulada “Influencia de la

inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base” realizada por (Laica, 2016), se obtuvo como resultado que a medida que se va aumentado la proporción de caucho a la Sub Base, las propiedades mecánicas tienen una influencia negativa debido a que se van disminuyendo considerablemente, tal es el caso de la compactación ya que disminuyen los valores de contenido de humedad y la densidad seca; del mismo modo, en el CBR disminuye la resistencia. De la misma manera, el Ingeniero (Patiño, 2017) en su tesis denominada “Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado”, determinó que el CBR disminuyó en un 23.91% con respecto a la prueba patrón, los resultados del presente trabajo coinciden con los resultados de las tesis mencionadas anteriormente pues los valores de densidad seca disminuyen por cada adición de caucho que se le incorpore lo que a su vez hace que los valores de CBR disminuyan también. Finalmente, se rechaza la hipótesis debido a que la resistencia mecánica del material para afirmado disminuye de 55.63% a 16.50% para el 3% de adición; de 55.63% a 13.91 para el 5% de adición y de 55.63% a 8.80% para el 7% de adición.

#### 4.2. Conclusiones

- La hipótesis de la presente investigación se rechaza ya que la resistencia mecánica del material para afirmado disminuye por cada adición de caucho que se le incorpore, siendo los valores de: 55.63% para la muestra patrón, 16.50% para el afirmado con 3% de adición de caucho, 13.91% para el afirmado con 5% de adición y 8.80% para el afirmado con 7% de adición.
- El material para afirmado de la cantera “El Gavilán” cumple con los requisitos mínimos para un material para afirmado según las normas técnicas peruanas del Ministerio de transportes y comunicaciones (2013) teniendo una resistencia a la abrasión de 32.47%. una gradación tipo A-1, un límite líquido de 11.60% y un CBR al 0.1” de 55.63%
- Se determinó la resistencia mecánica de un material para afirmado incorporando caucho en diferentes porcentajes (3%, 5% y 7%) siendo los valores de: 55.63% para la muestra patrón, 16.50% para el afirmado con 3% de adición de caucho, 13.91% para el afirmado con 5% de adición y 8.80% para el afirmado con 7% de adición.
- La máxima densidad seca disminuye por cada adición de caucho respecto a la muestra patrón la cual tuvo una máxima densidad seca de  $2.30 \text{ gr/cm}^3$  y para las adiciones de 3%, 5%, 7% se obtuvo  $2.19 \text{ gr/cm}^3$ ,  $2.16 \text{ gr/cm}^3$  y  $2.065 \text{ gr/cm}^3$  respectivamente.
- Al comparar el material para afirmado sin adición con el material para afirmado con adición se determinó que la máxima densidad seca disminuye por cada adición de caucho que se le incorpore y por ende disminuye su resistencia mecánica.
- Por todo lo expuesto, no se recomienda agregar caucho granulado en carreteras hechas de afirmado ya que tiende a disminuir a la máxima densidad seca y por lo tanto la resistencia mecánica.
- Se sugiere replicar la presente investigación, pero utilizando porcentajes más bajos de caucho granulado.



- Se aconseja hacer pruebas e investigaciones utilizando caucho granulado, pero aplicándolo en carpetas asfálticas pues existen investigaciones en las que se indica que este podría mejorar su resistencia.
- Se sugiere realizar investigaciones con el caucho granulado y su influencia en suelos arcillosos, pues al ser un material impermeable les quitaría a las arcillas su capacidad de absorber líquidos y de esta forma su capacidad de deformarse lo que podría ser beneficioso para este tipo de suelos.
- Por último, se recomienda replicar la presente investigación, pero utilizando diversas canteras de la ciudad de Cajamarca para poder establecer diferencias y similitudes de la resistencia mecánica de un material para afirmado incorporándole el mismo tipo de adicionamiento.


## REFERENCIAS


1. Agencia Peruana de Noticias Andina. (19 de Noviembre de 2018).
2. Boza, A. L. (2015). XVIII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto. Universidad de Piura.
3. Chávez, E. C. (2018). Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce el Porongo – Aeropuerto – Cajamarca. Cajamarca.
4. Laica, J. G. (2016). Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base. Ambato- Ecuador.
5. Mateos, M. (2016). Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras. España.
6. MEF. (2015). Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. Lima.
7. MTC. (2018). Manual de Carreteras Mantenimiento o Conservación Vial.
8. Parra, B. F. (2017). Estabilización de Suelos Arcillosos de Macas con Valores de CBR menores al 5% y Límites Líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como Subrasantes en Carreteras. Cuenca.
9. Patiño, J. J. (2017). Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado. Guayaquil.
10. Rivera, M. &. (2016). Influencia de la incorporación de cuatro niveles ( 1%,2%,3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado. Cajamarca.


11. Surichaqui, C. M. (2017). Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio. Huancayo.
12. Víctor Hernandez. (08 de Mayo de 2018). Red de comunicación regional.

## ANEXOS

### Anexo 1: Protocolos UPN

	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>																																																																																													
	PROTOCOLO																																																																																													
	<b>ENSAYO:</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO			<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>																																																																																									
	<b>NORMA:</b>	ASTM D421			AGTL-LS-UPNC: .....																																																																																									
<b>TESIS:</b>																																																																																														
<b>CALICATA:</b>		<b>ESTRATO</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>																																																																																										
<b>UBICACIÓN:</b>				<b>COLOR DE MATERIAL:</b>																																																																																										
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>				<b>RESPONSABLE:</b>																																																																																										
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>				<b>REVISADO POR:</b>																																																																																										
<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Peso total (gr.)</b></td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td rowspan="2"><b>peso seco fino</b></td> <td><b>Inicial (gr.)</b></td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td><b>Final (gr.)</b></td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Pasante de la N°200 (gr.)</b></td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td><b>Tamiz</b></td> <td><b>Abertura (mm)</b></td> <td><b>Peso retenido (gr.)</b></td> <td><b>% Retenido parcial</b></td> <td><b>%Retenido acumulado</b></td> <td><b>% Que pasa</b></td> </tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>						<b>Peso total (gr.)</b>						<b>peso seco fino</b>	<b>Inicial (gr.)</b>					<b>Final (gr.)</b>					<b>Pasante de la N°200 (gr.)</b>						<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido (gr.)</b>	<b>% Retenido parcial</b>	<b>%Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>																																																												
<b>Peso total (gr.)</b>																																																																																														
<b>peso seco fino</b>	<b>Inicial (gr.)</b>																																																																																													
	<b>Final (gr.)</b>																																																																																													
<b>Pasante de la N°200 (gr.)</b>																																																																																														
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso retenido (gr.)</b>	<b>% Retenido parcial</b>	<b>%Retenido acumulado</b>	<b>% Que pasa</b>																																																																																									
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																														
<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>ASESOR DE TESIS</b>																																																																																										
<b>NOMBRE:</b>		<b>NOMBRE:</b>		<b>NOMBRE:</b>																																																																																										
<b>FECHA:</b>		<b>FECHA:</b>		<b>FECHA:</b>																																																																																										


LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
					
PROTOCOLO					
ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2")				CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
NORMA:	MTC E207 - ASTM C 131 - NTP 400.019				ALA-LC-UPNC: .....
TESIS:					
CALICATA:	ESTRATO		TIPO DE MATERIAL:		
UBICACIÓN:			COLOR DE MATERIAL:		
FECHA DE MUESTREO			RESPONSABLE:		
FECHA DE ENSAYO:			REVISADO POR:		
GRANULOMETRÍA DE ENSAYO					
GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"	
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)					
GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO					
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr.)	"B" (gr.)	"C" (gr.)	"D" (gr.)
DESGASTE A LA ABRASIÓN					
ID	DESCRIPCIÓN	UNI	1		
A					
B					
D					
OBSERVACIONES:					
COORDINADOR DE LABORATORIO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		ASESOR DE TESIS	
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:	
FECHA:		FECHA:		FECHA:	


LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																																																																	
PROTOCOLO																																																																	
	ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD			CÓDIGO DEL DOCUMENTO:																																																												
	NORMA:	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			CH-LS-UPNC: .....																																																												
	TESIS:																																																																
CALICATA:		ESTRATO		TIPO DE MATERIAL:																																																													
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:																																																													
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:																																																													
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:																																																													
Temperatura de Secado		Método																																																															
60 °C / 110 °C / Ambiente		Horno 110 ± 5 °C																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">CONTENIDO DE HUMEDAD</th> </tr> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UND</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Identificación de Recipiente</td> <td></td> <td>T-1</td> <td>T-2</td> <td>T-3</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Peso del Recipiente</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Recipiente + Suelo Húmedo</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Recipiente + Suelo Seco</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Peso del suelo húmedo <math>Ww = C - B</math></td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Peso Suelo Seco <math>Ws = D - B</math></td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W%</td> <td>Porcentaje de humedad <math>(E / F) * 100</math></td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Promedio Porcentaje Humedad</td> <td>%</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>						CONTENIDO DE HUMEDAD						ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	A	Identificación de Recipiente		T-1	T-2	T-3	B	Peso del Recipiente	gr				C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr				D	Recipiente + Suelo Seco	gr				E	Peso del suelo húmedo $Ww = C - B$	gr				F	Peso Suelo Seco $Ws = D - B$	gr				W%	Porcentaje de humedad $(E / F) * 100$	%				G	Promedio Porcentaje Humedad	%			
CONTENIDO DE HUMEDAD																																																																	
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3																																																												
A	Identificación de Recipiente		T-1	T-2	T-3																																																												
B	Peso del Recipiente	gr																																																															
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr																																																															
D	Recipiente + Suelo Seco	gr																																																															
E	Peso del suelo húmedo $Ww = C - B$	gr																																																															
F	Peso Suelo Seco $Ws = D - B$	gr																																																															
W%	Porcentaje de humedad $(E / F) * 100$	%																																																															
G	Promedio Porcentaje Humedad	%																																																															
$(W\%) = \frac{Ww}{Ws} * 100$																																																																	
OBSERVACIONES:																																																																	
COORDINADOR DE LABORATORIO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		ASESOR DE TESIS																																																													
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:																																																													
FECHA:		FECHA:		FECHA:																																																													


LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																																																																																																																																																																							
PROTOCOLO																																																																																																																																																																							
<b>ENSAYO:</b>		LÍMITES DE PLASTICIDAD			<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>																																																																																																																																																																		
<b>NORMA:</b>		ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111			LP-LS-UPNC: .....																																																																																																																																																																		
<b>TESIS:</b>																																																																																																																																																																							
CALICATA:		ESTRATO		TIPO DE MATERIAL:																																																																																																																																																																			
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:																																																																																																																																																																			
FECHA DE MUESTREO				RESPONSABLE:																																																																																																																																																																			
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)</th> </tr> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UND</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Identificación de Recipiente</td> <td>Nº</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Suelo Húmedo + Recipiente</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Suelo Seco + Recipiente</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Peso Recipiente</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Peso del Agua</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Peso Suelo Seco</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Número de Golpes</td> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>Contenido de Humedad</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) - NP</th> </tr> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UND</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Identificación de Recipiente</td> <td>Nº</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Suelo Húmedo + Recipiente</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Suelo Seco + Recipiente</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Peso Recipiente</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Peso del Agua</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Peso Suelo Seco</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Contenido de Humedad</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>Promedio Límite Plástico</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)								ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5	A	Identificación de Recipiente	Nº						B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr						C	Suelo Seco + Recipiente	gr						D	Peso Recipiente	gr						E	Peso del Agua	gr						F	Peso Suelo Seco	gr						G	Número de Golpes	N						H	Contenido de Humedad	%						DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) - NP								ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5	A	Identificación de Recipiente	Nº						B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr						C	Suelo Seco + Recipiente	gr						D	Peso Recipiente	gr						E	Peso del Agua	gr						F	Peso Suelo Seco	gr						G	Contenido de Humedad	%						H	Promedio Límite Plástico						
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)																																																																																																																																																																							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5																																																																																																																																																																
A	Identificación de Recipiente	Nº																																																																																																																																																																					
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr																																																																																																																																																																					
C	Suelo Seco + Recipiente	gr																																																																																																																																																																					
D	Peso Recipiente	gr																																																																																																																																																																					
E	Peso del Agua	gr																																																																																																																																																																					
F	Peso Suelo Seco	gr																																																																																																																																																																					
G	Número de Golpes	N																																																																																																																																																																					
H	Contenido de Humedad	%																																																																																																																																																																					
DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) - NP																																																																																																																																																																							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5																																																																																																																																																																
A	Identificación de Recipiente	Nº																																																																																																																																																																					
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr																																																																																																																																																																					
C	Suelo Seco + Recipiente	gr																																																																																																																																																																					
D	Peso Recipiente	gr																																																																																																																																																																					
E	Peso del Agua	gr																																																																																																																																																																					
F	Peso Suelo Seco	gr																																																																																																																																																																					
G	Contenido de Humedad	%																																																																																																																																																																					
H	Promedio Límite Plástico																																																																																																																																																																						
OBSERVACIONES:																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>COORDINADOR DE LABORATORIO</th> <th>RESPONSABLE DEL ENSAYO</th> <th>ASESOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NOMBRE:</td> <td>NOMBRE:</td> <td>NOMBRE:</td> </tr> <tr> <td>FECHA:</td> <td>FECHA:</td> <td>FECHA:</td> </tr> </tbody> </table>								COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR				NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	FECHA:	FECHA:	FECHA:																																																																																																																																																				
COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR																																																																																																																																																																					
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:																																																																																																																																																																					
FECHA:	FECHA:	FECHA:																																																																																																																																																																					

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA											
PROTOCOLO											
<b>ENSAYO:</b>		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO					<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>				
<b>NORMA:</b>		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141					<b>CPM-LS-UPNC:</b> .....				
<b>TESIS:</b>											
<b>CALICATA:</b>		<b>ESTRATO:</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>							
<b>UBICACIÓN:</b>					<b>COLOR DE MATERIAL:</b>						
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>					<b>RESPONSABLE:</b>						
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>					<b>REVISADO POR:</b>						
COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO											
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4		
A	Peso Molde	gr									
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr									
C	Peso Muestra Húmeda	gr									
D	Volumen Muestra húmeda	cm3									
F	Densidad húmeda; <b>Dh</b>	gr/cm3									
G	<b>Recipiente</b>	<b>N°</b>	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>	<b>T-4</b>	<b>T-5</b>	<b>T-6</b>	<b>T-7</b>	<b>T-8</b>	
H	Peso Recipiente	gr									
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr									
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr									
K	Peso del Agua	gr									
L	Peso Muestra seca	gr									
M	Contenido de Humedad W%	%									
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%									
O	Densidad Seca Máxima; <b>Ds</b>	gr/cm3									
OBSERVACIONES:											
<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>			<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>				<b>ASESOR</b>				
<b>NOMBRE:</b>			<b>NOMBRE:</b>				<b>NOMBRE:</b>				
<b>FECHA:</b>			<b>FECHA:</b>				<b>FECHA:</b>				



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA										
PROTOCOLO										
		ENSAYO: CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR				CÓDIGO DEL DOCUMENTO:				
		NORMA: MTC E132 / ASTM D188				CBR-LS-UPNC: .....				
		TESIS:								
CALICATA:		ESTRATO:		TIPO DE MATERIAL:						
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:						
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:						
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:						
CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR										
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3				
N° de Capas		5		5		5				
N° de Golpes por capa		13		27		56				
Condición de muestra		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues			
Peso Molde	gr									
Peso Muestra húmeda + Molde	gr									
Peso Muestra húmeda	gr									
Volumen muestra húmeda	cm3									
Densidad húmeda; Dh	gr/cm3									
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	2 - B	2 - C	3 - A	3 - B	3 - C
Peso Recipiente	gr									
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr									
Peso Muestra seca + Recipiente	gr									
Peso del Agua	gr									
Peso Muestra Seca	gr									
Contenido de humedad ; W%	%									
Promedio Contenido de Humedad	%									
Densidad Máxima seca;Ds	gr/cm3									
ENSAYO DE HINCHAMIENTO (NP)										
TIEMPO		MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3		
ACUMULADO		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
Horas	Días	Deforma	mm	%	Deforma	mm	%	Deforma	mm	%
OBSERVACIONES:										
COORDINADOR DE LABORATORIO				RESPONSABLE DEL ENSAYO				ASESOR		
NOMBRE:				NOMBRE:				NOMBRE:		
FECHA:				FECHA:				FECHA:		

										<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>										
<b>PROTOCOLO</b>																				
<b>ENSAYO:</b>					CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR										<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>					
<b>NORMA:</b>					MTC E132 / ASTM D188										<b>CBR-LS-UPNC: .....</b>					
<b>TESIS:</b>																				
<b>CALICATA:</b>					<b>ESTRATO:</b>					<b>TIPO DE MATERIAL:</b>										
<b>UBICACIÓN:</b>					<b>COLOR DE MATERIAL:</b>															
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>					<b>RESPONSABLE:</b>															
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>					<b>REVISADO POR:</b>															
<b>CARGA - PENETRACIÓN</b>																				
<b>PENETRACIÓN</b>		<b>MOLDE N°1</b>			<b>MOLDE N°2</b>			<b>MOLDE N°3</b>												
		<b>Carga</b>		<b>Esfuerzo</b>		<b>Carga</b>		<b>Esfuerzo</b>		<b>Carga</b>		<b>Esfuerzo</b>								
<b>mm</b>	<b>Pulg.</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>Lb/pl2</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>Lb/pl2</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>Lb/pl2</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>Lb/pl2</b>							
0.000	0.000																			
0.635	0.025																			
1.270	0.050																			
1.905	0.075																			
2.540	0.100																			
<b>OBSERVACIONES:</b>																				
<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>					<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>					<b>ASESOR</b>										
<b>NOMBRE:</b>					<b>NOMBRE:</b>					<b>NOMBRE:</b>										
<b>FECHA:</b>					<b>FECHA:</b>					<b>FECHA:</b>										

	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>		
	PROTOCOLO		
	<b>ENSAYO:</b>	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>
	<b>NORMA:</b>	MTC E132 / ASTM D188	<b>CBR-LS-UPNC: .....</b>
<b>TESIS:</b>			
<b>CALICATA:</b>		<b>ESTRATO:</b>	<b>TIPO DE MATERIAL:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>		<b>COLOR DE MATERIAL:</b>	
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>		<b>RESPONSABLE:</b>	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		<b>REVISADO POR:</b>	

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )			
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )			
CBR (%)			
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )			

RESULTADOS	
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	
CBR 0.1" (%)	

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>ASESOR</b>
<b>NOMBRE:</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>NOMBRE:</b>
<b>FECHA:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>FECHA:</b>

**Anexo 2:** Panel Fotográfico

Fotografía N° 1: *Toma de muestra de material  
para ensayos*



Fotografía N° 2: *cuarteo de la muestra a  
ensayar*



Fotografía N° 3: *tamizado para determinar la granulometría del agregado*



Fotografía N° 4: *Lavado de la porción de finos*



Fotografía N° 10: *Secado de muestras*



Fotografía N° 13: *Abrasión de los ángeles*





Fotografía N° 7: *Determinación de los límites de plasticidad*



Fotografía 8: Ensayo Proctor Modificado



Fotografía N° 9: *Molde CBR*





Fotografía N° 10: *Prueba penetración CBR*





### Anexo 3: Especificaciones técnicas del caucho



	<p style="text-align: center;"><b>CAUCHO GRANULADO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>GRANULADO DE NEUMÁTICOS USADOS</b></p>	
---	---	---

### FICHA TÉCNICA

#### 1. Identificación del producto:

Granulado de neumáticos usados - caucho granulado

Código del producto: CGP0051

#### 2. Descripción del producto:

Gránulos y polvo de caucho vulcanizado procedente de la trituración mecánica a temperatura ambiental, de neumáticos fuera de uso.

COMPOSICIÓN/COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Caucho vulcanizado (%)	< 0,10 para tamaños de caucho superiores a 6mm.
Materiales ferromagnéticos (%)	< 0,01 para tamaños de caucho inferiores o iguales a 6mm.
Materiales textiles (%)	< 0,05
Otros materiales (%)	< 0,05

#### 3. Campos de aplicación:

Asfaltos modificados	Mezclas Bituminosas
Cargas elastoméricas: (Hormigón; másticos bituminosos; poliuretanos)	Relleno de campos de césped artificial de nueva generación
Campos de golf	Losetas
Aislamientos acústicos	Preformados
Bases elásticas para pavimentos deportivos y de seguridad	Hipódromos
Pavimentos en continuo (sin juntas)	Rellenos obra civil
Topes de parqueos	Rompe velocidades
Productos moldeados	Mezclas con caucho
Mezclas con plásticos	Pinturas

#### 4. Propiedades físicas y químicas:

PROPIEDADES FÍSICAS	DESCRIPCIÓN
Forma	Sólidos en forma de granulados y polvo.
Color	Negro
Olor	Caucho característico
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	0.7942 – 1.032
Peso específico	1,15 – 1,27
Humedad (%)	< 0.75
Punto de combustión (°C)	300 - 450
PROPIEDADES QUÍMICAS	DESCRIPCIÓN
Extracto cetónico (%)	5,00 – 22,00
Contenido en cenizas (%)	7,00 – 11,00
Contenido en polímeros NR/SR (%)	70/30 – 60/40
Contenido de negro de humo (%)	26,00 – 38,00
Contenido de caucho natural (%)	10,00 – 35,00
Contenido en hidrocarburo de caucho (%)	57,00 - 58,00
Contenido de Plomo (mg/kg)	< 0.03
Azufre (%)	1,0 – 7,00
pH (25°C)	8,12 – 8,20
Solubilidad	Insoluble en agua, parcialmente soluble en acetona.

#### 5. Tipo de producto:

DENOMINACIÓN COMERCIAL	GRANULOMETRÍA (mm)
CAUCHO GRANULADO	2 – 6



#### 6. Presentación:

- Sacos de 50 kg

#### 7. Transporte, manipulación y almacenamiento:

- Transporte: No peligroso, se deben cumplir con las leyes fijadas por la Agencia Nacional de Tránsito.
- Manipulación: No son necesarias precauciones especiales.

- Almacenamiento: A temperatura ambiente, se recomienda almacenar en lugar seco, protegido de la lluvia y el sol

## **8. Efectos sobre la salud humana y el medio ambiente:**

Los granulados y polvo de neumáticos reciclados se consideran: no explosivos, no comburentes, no irritantes, no tóxicos oralmente, no tóxicos por contacto con la piel, no cancerígenos, no magnéticos, no mutagénicos, no susceptibles de emitir gases tóxicos excepto en presencia de llama directa, no tóxica para el medio ambiente.


*Esta información es presentada sin garantía, representación o licencia de ninguna clase.*

*Sin embargo, no garantiza implícita o explícitamente la responsabilidad que tiene el usuario de realizar las pruebas a este producto. La responsabilidad del usuario es asegurarse de cumplir con las regulaciones gubernamentales, estatales y locales.*

*Antes de usar cualquier producto lea la etiqueta de presentación, la ficha técnica, la Hoja de Seguridad.*

*CASGUZ S.A., CASA GUZMÁN se reserva el derecho a modificaciones sin previo aviso y no se responsabiliza del uso indebido del producto.*

#### Anexo 4: Protocolos de ensayos realizados

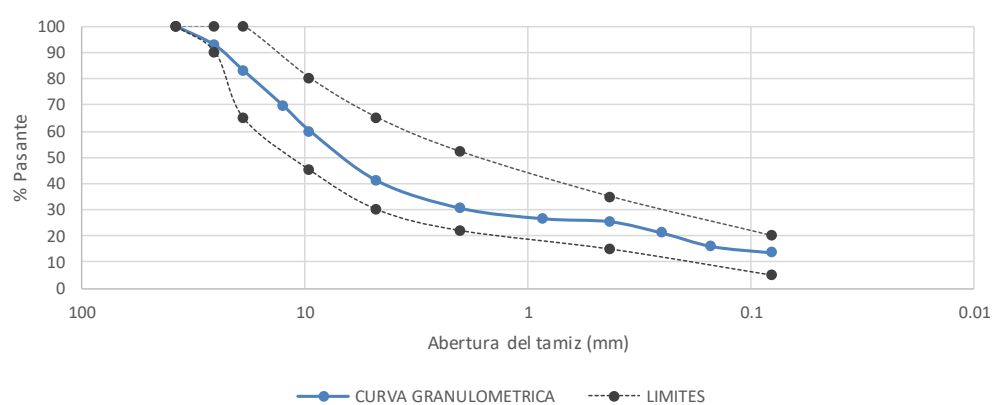
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
	ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO			CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	NORMA:	ASTM D421			AGTL-LS-UPNC: .....
	TESIS:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL ADOBE COMPACTADO CON ADICIÓN DE TRES PORCENTAJES (1.5%, 3.0%, 4.5%) DE VIRUTA METÁLICA			
CALICATA:	-	ESTRATO	-	TIPO DE MATERIAL:	Afirmado
UBICACIÓN:	Cruz Blanca		COLOR DE MATERIAL:	Sepia	
FECHA DE MUESTREO:	28/04/2018		RESPONSABLE:	Cubas Castro, Diego Fernando	
FECHA DE ENSAYO:	04/05/2018		REVISADO POR:		

Peso total (gr.)		10000			
peso seco fino	Inicial (gr.)	500			
	Final (gr.)	347.2			
Pasante de la N°200 (gr.)		152.8			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	%Retenido acumulado	% Que pasa
1"	25.40	733.80	7.338	7.338	92.662
3/4"	19	948.40	9.484	16.822	83.178
1/2"	12.50	1364.70	13.647	30.469	69.531
3/8"	9.50	958.20	9.582	40.051	59.949
N°40	4.75	1897.50	18.975	59.026	40.974
N°10	2.00	127.50	10.448	69.474	30.526
N°20	0.85	48.40	3.966	73.441	26.559
N°40	0.430	13.60	1.114	74.555	25.445
N°60	0.25	53.40	4.376	78.931	21.069
N°100	0.15	62.20	5.097	84.028	15.972
N°200	0.08	29.80	2.442	86.470	13.530
Cazoleta	-	152.80	12.522	99.000	1.000




  


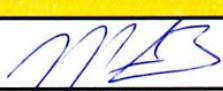
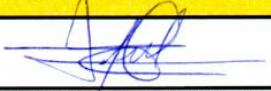
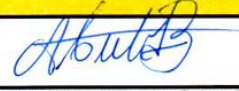
**CURVA GRANULOMETRICA**



—●— CURVA GRANULOMETRICA    - - - - - LIMITES

OBSERVACIONES:		
COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
		
NOMBRE: Ing/ Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
	ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD			CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	NORMA:	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			CH-LS-UPNC: .....
	TESIS:	RESISTENCIA MECANICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO CAUCHO EN DIFERENTES PORCENTAJES			
CALICATA:	-	ESTRATO	-	TIPO DE MATERIAL:	Afirmado
UBICACIÓN:	El gavián			COLOR DE MATERIAL:	Sepia
FECHA DE MUESTREO:	07/05/2018			RESPONSABLE:	Cubas castro, Diego fernando
FECHA DE ENSAYO:	07/05/2018			REVISADO POR:	
Temperatura de Secado		Método			
60 °C / 110 °C / Ambiente		Horno 110 ± 5 °C			
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		T-1	T-2	T-3
B	Peso del Recipiente	gr	37.10	39.00	39.20
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	492.70	496.00	501.90
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	485.40	488.80	493.40
E	Peso del suelo húmedo $Ww = C - B$	gr	455.60	457.00	462.70
F	Peso Suelo Seco $Ws = D - B$	gr	448.30	449.80	454.20
W%	Porcentaje de humedad $(E / F) * 100$	%	1.63	1.60	1.87
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	1.70		
$(W\%) = \frac{Ww}{Ws} * 100$					
OBSERVACIONES:					
COORDINADOR DE LABORATORIO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		ASESOR DE TESIS	
					
NOMBRE: Ing/ Erick Muñoz		NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro		NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra	
FECHA: 23 / 05 / 2018		FECHA: 23 / 05 / 2018		FECHA: 23 / 05 / 2018	

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA						
PROTOCOLO						
<b>ENSAYO:</b>	LÍMITES DE PLASTICIDAD				<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>	
<b>NORMA:</b>	ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111				LP-LS-UPNC: .....	
<b>TESIS:</b>	RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIRENTES PORCENTAJES DE CAUCHO					
<b>CALICATA:</b>	C1	ESTRATO	-	<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	Afirmado	
<b>UBICACIÓN:</b>	El gavián			<b>COLOR DE MATERIAL:</b>	Sepia	
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	28/04/2018			<b>RESPONSABLE:</b>	Cubas Castro, Diego Fernando	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	07/05/2018			<b>REVISADO POR:</b>		

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	Nº	T-4	T-5	T-6	T-7	-
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	51.00	59.90	53.70	48.40	-
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	47.80	55.20	50.00	45.40	-
D	Peso Recipiente	gr	26.40	26.20	26.80	27.50	-
E	Peso del Agua	gr	3.20	4.70	3.70	3.00	-
F	Peso Suelo Seco	gr	21.40	29.00	23.20	17.90	-
G	Número de Golpes	N	27	21	15	9	-
H	Contenido de Humedad	%	11.50	11.62	11.59	11.68	-

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) - NP							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	Nº					
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr					
C	Suelo Seco + Recipiente	gr					
D	Peso Recipiente	gr					
E	Peso del Agua	gr					
F	Peso Suelo Seco	gr					
G	Contenido de Humedad	%					
H	Promedio Límite Plástico						


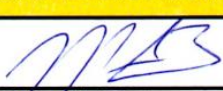
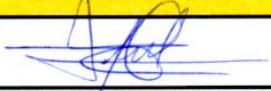
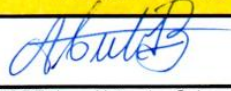
Nº de golpes	Contenido de humedad W%
27	11.68
21	11.62
15	11.59
9	11.50

OBSERVACIONES:		

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
NOMBRE: Ing/ Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2")			CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	NORMA:	MTC E207 - ASTM C 131 - NTP 400.019			ALA-LC-UPNC: .....
	TESIS:	RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIRENTES PORCENTAJES DE CAUCHO			
CALICATA:	-	ESTRATO	-	TIPO DE MATERIAL:	Afirmado
UBICACIÓN:	El gavián			COLOR DE MATERIAL:	Sepia
FECHA DE MUESTREO	28/04/2018			RESPONSABLE:	Cubas Castro, Diego Fernando
FECHA DE ENSAYO:	08/05/2018			REVISADO POR:	
GRANULOMETRÍA DE ENSAYO					
GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"	
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)	12	11	8	6	
GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO					
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr.)	"B" (gr.)	"C" (gr.)	"D" (gr.)
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±25	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±25	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
DESGASTE A LA ABRASIÓN					
ID	DESCRIPCIÓN	UNI	1		
A	Peso muestra total	gr.	5,016.00		
B	Peso retenido en el tamiz N° 12	gr.	3,387.10		
D	Desgaste a la abrasión de los Ángeles $D = (A - B) * 100 / A$	%	32.47		
OBSERVACIONES:					
COORDINADOR DE LABORATORIO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		ASESOR DE TESIS	
					
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz		NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro		NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra	
FECHA: 23 / 05 / 2018		FECHA: 23 / 05 / 2018		FECHA: 23 / 05 / 2018	



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
<b>ENSAYO:</b>		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO				<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>			
<b>NORMA:</b>		MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141				<b>CPM-LS-UPNC:</b> .....			
<b>TESIS:</b>		<b>RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO</b>							
<b>CALICATA:</b>	C-1	<b>ESTRATO:</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>		Afirmado - Patrón			
<b>UBICACIÓN:</b>	El Gavilán		<b>COLOR DE MATERIAL:</b>		Sepia				
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	28/04/2018		<b>RESPONSABLE:</b>		Cubas Castro, Diego Fernando				
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	04/06/2018		<b>REVISADO POR:</b>						

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4			
A	Peso Molde	gr	6500.00	6500.00	6500.00	6500.00			
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	11271.00	11317.00	11416.00	11473.00			
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4771.00	4817.00	4916.00	4973.00			
D	Volumen Muestra húmeda	cm3	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00			
F	Densidad húmeda; <b>Dh</b>	gr/cm3	2.33	2.35	2.40	2.43			
G	<b>Recipiente</b>	<b>N°</b>	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>	<b>T-4</b>	<b>T-5</b>	<b>T-6</b>	<b>T-7</b>
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	26.70	27.40	26.70	26.40	27.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	99.20	122.90	114.60	118.00	136.70	130.10	149.50
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	97.90	119.70	111.80	115.20	131.80	125.60	140.80
K	Peso del Agua	gr	1.30	3.20	2.80	2.80	4.90	4.50	8.70
L	Peso Muestra seca	gr	70.60	92.00	85.10	87.80	105.10	99.20	113.50
M	Contenido de Humedad W%	%	1.84	3.48	3.29	3.19	4.66	4.54	7.67
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	2.66		3.24		4.60		7.55
O	Densidad Seca Máxima; <b>Ds</b>	gr/cm3	2.27		2.28		2.29		2.26

**CURVA DE COMPACTACIÓN**


  

OBSERVACIONES:		

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018



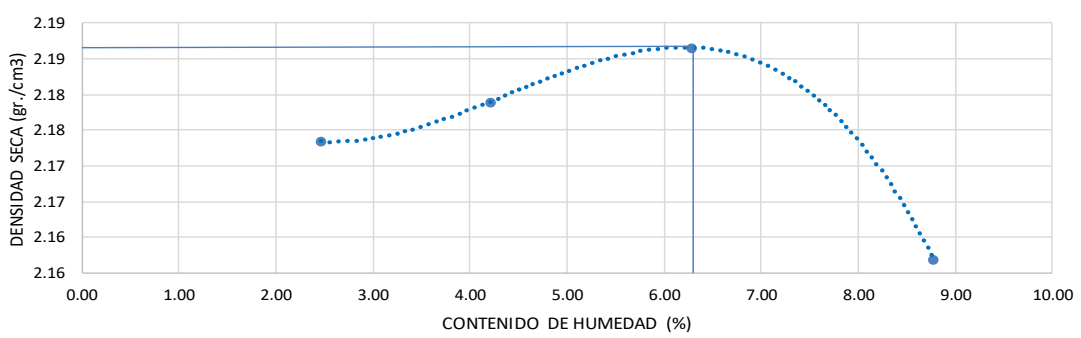
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA							
PROTOCOLO							
	<b>ENSAYO:</b>			COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>	
	<b>NORMA:</b>			MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		<b>CPM-LS-UPNC:</b> .....	
	<b>TESIS:</b>			RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO			
<b>CALICATA:</b>		C-1		<b>ESTRATO:</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>		El Gavilán		<b>COLOR DE MATERIAL:</b>		Sepia	
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>		28/04/2018		<b>RESPONSABLE:</b>		Cubas Castro, Diego Fernando	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		06/06/2018		<b>REVISADO POR:</b>			

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6500.00		6500.00		6500.00		6500.00	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	11065.00		11155.00		11264.00		11310.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4565.00		4655.00		4764.00		4810.00	
D	Volumen Muestra húmeda	cm3	2050.00		2050.00		2050.00		2050.00	
F	Densidad húmeda; <b>Dh</b>	gr/cm3	2.23		2.27		2.32		2.35	
G	<b>Recipiente</b>	<b>N°</b>	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>	<b>T-4</b>	<b>T-5</b>	<b>T-6</b>	<b>T-7</b>	<b>T-8</b>
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	26.70	27.40	26.70	26.40	26.30	26.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	115.50	122.20	121.80	145.70	141.50	129.80	140.70	128.10
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	113.70	119.60	118.30	140.50	134.60	123.80	131.90	119.50
K	Peso del Agua	gr	1.80	2.60	3.50	5.20	6.90	6.00	8.80	8.60
L	Peso Muestra seca	gr	86.40	91.90	91.60	113.10	107.90	97.40	105.60	93.20
M	Contenido de Humedad W%	%	2.08	2.83	3.82	4.60	6.39	6.16	8.33	9.23
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	2.46		4.21		6.28		8.78	
O	Densidad Seca Máxima; <b>Ds</b>	gr/cm3	2.17		2.18		2.19		2.16	

**CURVA DE COMPACTACIÓN**





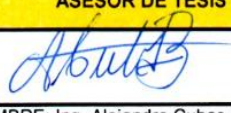
DENSIDAD SECA (gr./cm3)


CONTENIDO DE HUMEDAD (%)

<b>OBSERVACIONES:</b>		

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
		
NOMBRE: Ing/ Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

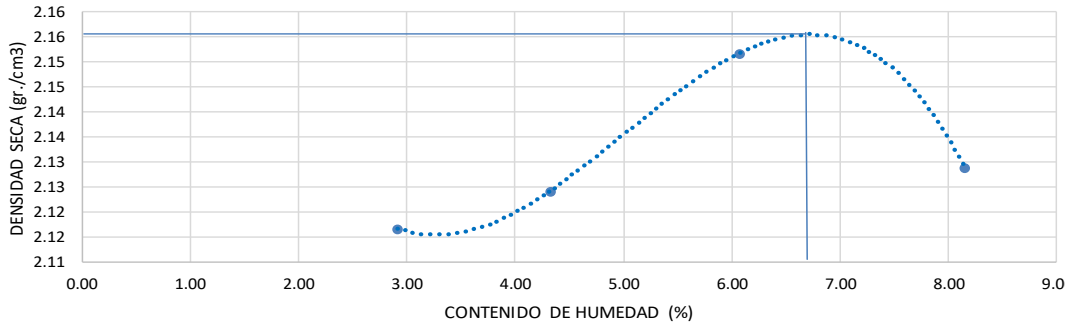
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
	<b>ENSAYO:</b>	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO				<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>			
	<b>NORMA:</b>	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141				<b>CPM-LS-UPNC:</b> .....			
	<b>TESIS:</b>	<b>RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO</b>							
<b>CALICATA:</b>	C-1	<b>ESTRATO:</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>		Afirmado con 5% de caucho			
<b>UBICACIÓN:</b>	El Gavilán		<b>COLOR DE MATERIAL:</b>		Sepia				
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	28/04/2018		<b>RESPONSABLE:</b>		Cubas Castro, Diego Fernando				
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	11/06/2018		<b>REVISADO POR:</b>						

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO										
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6500.00		6500.00		6500.00		6500.00	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10966.00		11043.00		11179.00		11220.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4466.00		4543.00		4679.00		4720.00	
D	Volumen Muestra húmeda	cm3	2050.00		2050.00		2050.00		2050.00	
F	Densidad húmeda; <b>Dh</b>	gr/cm3	2.18		2.22		2.28		2.30	
G	<b>Recipiente</b>	<b>N°</b>	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>	<b>T-4</b>	<b>T-5</b>	<b>T-6</b>	<b>T-7</b>	<b>T-8</b>
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	26.70	27.40	26.70	26.40	26.30	26.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	130.00	117.40	131.20	121.10	132.90	146.90	150.60	140.40
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	127.50	114.50	127.00	117.10	127.00	139.80	141.00	132.00
K	Peso del Agua	gr	2.50	2.90	4.20	4.00	5.90	7.10	9.60	8.40
L	Peso Muestra seca	gr	100.20	86.80	100.30	89.70	100.30	113.40	114.70	105.70
M	Contenido de Humedad W%	%	2.50	3.34	4.19	4.46	5.88	6.26	8.37	7.95
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	2.92		4.32		6.07		8.16	
O	Densidad Seca Máxima; <b>Ds</b>	gr/cm3	2.12		2.12		2.15		2.13	



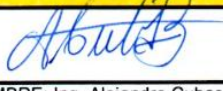
**CURVA DE COMPACTACIÓN**




<b>OBSERVACIONES:</b>		

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

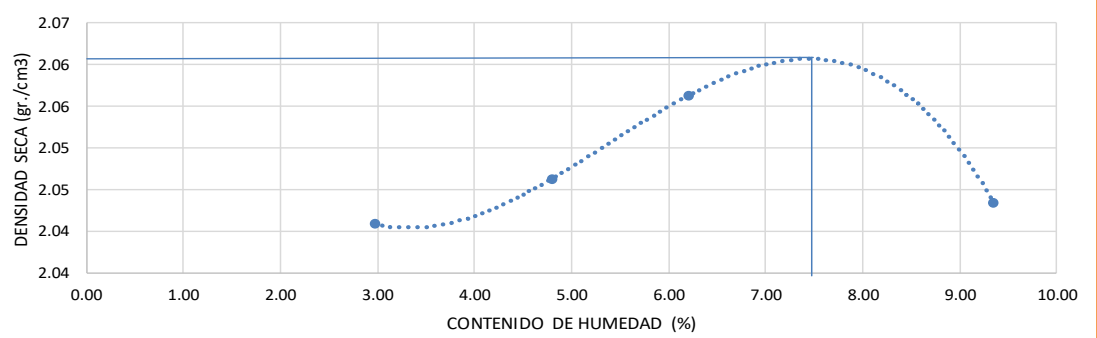
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
	ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO				CÓDIGO DEL DOCUMENTO:			
	NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141				CPM-LS-UPNC: .....			
	TESIS:	RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO							
CALICATA:	C-1	ESTRATO:		TIPO DE MATERIAL:		Afirmado con 7% de caucho			
UBICACIÓN:	El Gavilán		COLOR DE MATERIAL:		Sepia				
FECHA DE MUESTREO:	28/04/2018		RESPONSABLE:		Cubas Castro, Diego Fernando				
FECHA DE ENSAYO:	15/06/2018		REVISADO POR:						

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4			
A	Peso Molde	gr	6500.00	6500.00	6500.00	6500.00			
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	10808.00	10896.00	10977.00	11081.00			
C	Peso Muestra Húmeda	gr	4308.00	4396.00	4477.00	4581.00			
D	Volumen Muestra húmeda	cm3	2050.00	2050.00	2050.00	2050.00			
F	Densidad húmeda; <b>Dh</b>	gr/cm3	2.10	2.14	2.18	2.23			
G	Recipiente	N°	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7
H	Peso Recipiente	gr	27.30	27.70	26.70	27.40	26.70	26.40	26.30
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.30	136.70	125.40	128.30	139.80	113.70	138.30
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	129.40	133.43	120.87	123.70	133.27	108.54	129.47
K	Peso del Agua	gr	2.90	3.27	4.53	4.60	6.53	5.16	8.83
L	Peso Muestra seca	gr	102.10	105.73	94.17	96.30	106.57	82.14	103.17
M	Contenido de Humedad W%	%	2.84	3.09	4.81	4.78	6.13	6.28	8.56
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	2.97		4.79	6.20		9.35	
O	Densidad Seca Máxima; <b>Ds</b>	gr/cm3	2.04		2.05	2.06		2.04	



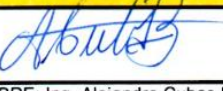
**CURVA DE COMPACTACIÓN**




  

OBSERVACIONES:		

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

**Bach. Diego Fernando Cubas Castro**

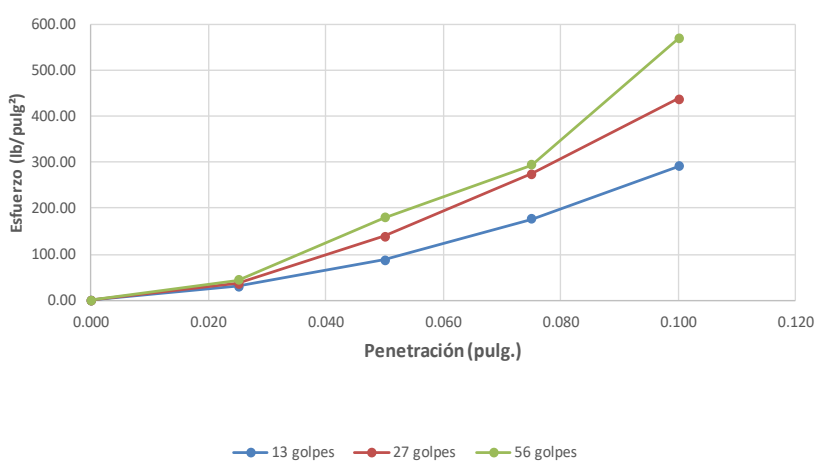
	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>									
	PROTOCOLO									
	<b>ENSAYO:</b> CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR					<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>				
	<b>NORMA:</b> MTC E132 / ASTM D188					<b>CBR-LS-UPNC:</b> .....				
<b>TESIS:</b> RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO										
<b>CALICATA:</b>	C-1	<b>ESTRATO:</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>				Afirmado - Patrón		
<b>UBICACIÓN:</b>	El Gavilán			<b>COLOR DE MATERIAL:</b>				Sepia		
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	28/04/2018			<b>RESPONSABLE:</b>				Cubas Castro, Diego Fernando		
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	21/06/2018			<b>REVISADO POR:</b>						

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg.	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2
0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.635	0.025	13.43	2.08	29.62	16.73	2.59	36.88	19.50	3.02	42.99
1.270	0.050	39.60	6.14	87.32	62.95	9.76	138.80	81.16	12.58	178.95
1.905	0.075	79.99	12.40	176.37	124.31	19.28	274.11	133.06	20.63	293.41
2.540	0.100	131.89	20.45	290.83	198.23	30.74	437.10	258.07	40.02	569.04



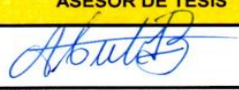
  


**CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN**



13 golpes    27 golpes    56 golpes

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>ASESOR DE TESIS</b>
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

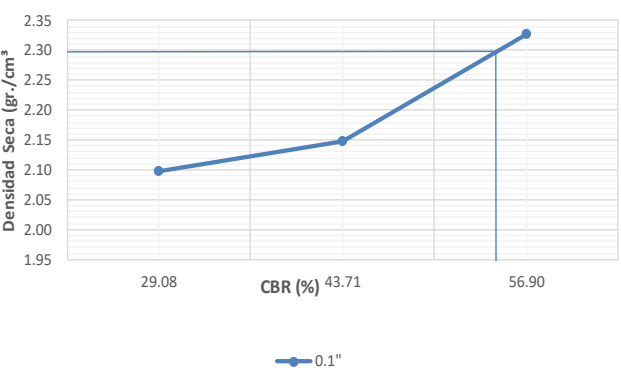
	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
	PROTOCOLO			
	<b>ENSAYO:</b>	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>	
	<b>NORMA:</b>	MTC E132 / ASTM D188	<b>CBR-LS-UPNC:</b> .....	
<b>TESIS:</b>	<b>RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO</b>			
<b>CALICATA:</b>	C-1	<b>ESTRATO:</b>	<b>TIPO DE MATERIAL:</b> Afirmado - Patrón	
<b>UBICACIÓN:</b>	El Gavilán	<b>COLOR DE MATERIAL:</b>	Sepia	
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	28/04/2018	<b>RESPONSABLE:</b>	Cubas Castro, Diego Fernando	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	21/06/2018	<b>REVISADO POR:</b>		

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	290.83	437.10	569.04
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000.00	1000.00	1000.00
CBR (%)	29.08	43.71	56.90
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	2.10	2.15	2.33

**CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN**



— 0.1"




  

RESULTADOS	
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.300
CBR 0.1" (%)	55.63


**OBSERVACIONES:**

<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>ASESOR DE TESIS</b>
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018



**Pág. 87**

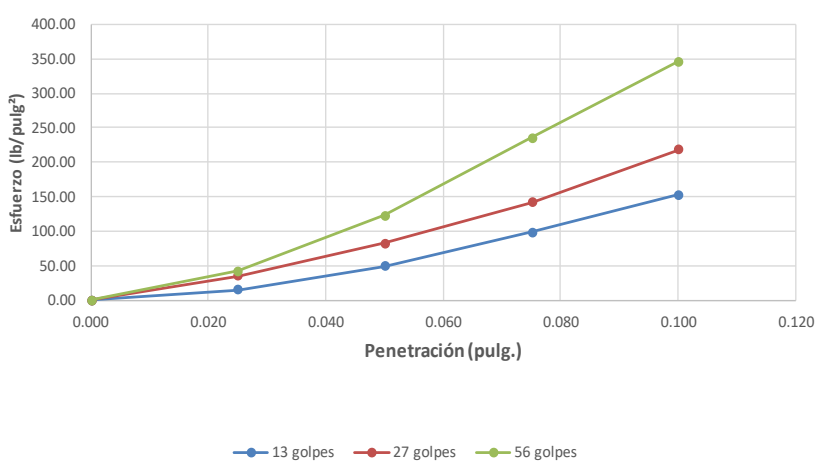
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
	ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR						CÓDIGO DEL DOCUMENTO:	
	NORMA:	MTC E132 / ASTM D188						CBR-LS-UPNC: .....	
	TESIS:	RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO							
CALICATA:	C-1	ESTRATO:		TIPO DE MATERIAL:				Afirmado + 3 de % Caucho	
UBICACIÓN:	El Gavilán		COLOR DE MATERIAL:				Sepia		
FECHA DE MUESTREO:	28/04/2018		RESPONSABLE:				Cubas Castro, Diego Fernando		
FECHA DE ENSAYO:	27/06/2018		REVISADO POR:						

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg.	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2
0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.635	0.025	6.93	1.08	15.29	16.03	2.49	35.35	19.06	2.96	42.04
1.270	0.050	22.53	3.49	49.68	37.26	5.78	82.17	55.46	8.60	122.29
1.905	0.075	44.63	6.92	98.41	64.13	9.94	141.40	106.59	16.53	235.03
2.540	0.100	69.33	10.75	152.87	98.79	15.32	217.83	156.85	24.32	345.86

**CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN**

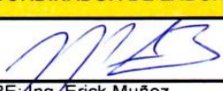
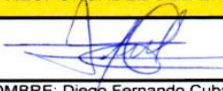
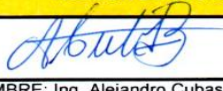


—●— 13 golpes    —●— 27 golpes    —●— 56 golpes

OBSERVACIONES:		

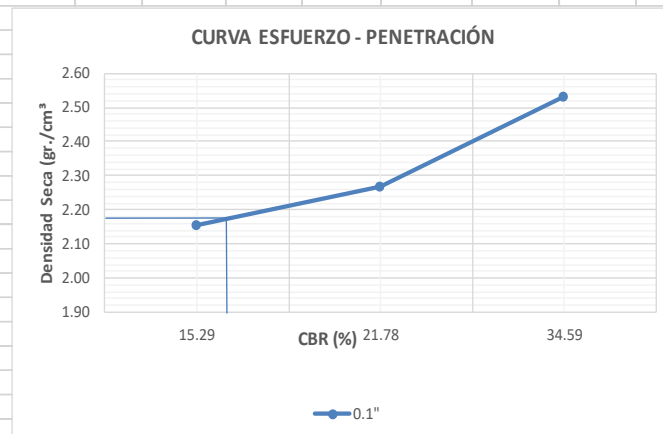
  

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018



	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>		
	PROTOCOLO		
	<b>ENSAYO:</b>	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>
	<b>NORMA:</b>	MTC E132 / ASTM D188	<b>CBR-LS-UPNC:</b> .....
<b>TESIS:</b>	<b>RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO</b>		
<b>CALICATA:</b>	C-1	<b>ESTRATO:</b>	<b>TIPO DE MATERIAL:</b> Afirmado + 3% de Caucho
<b>UBICACIÓN:</b>	El Gavilán	<b>COLOR DE MATERIAL:</b>	Sepia
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	28/04/2018	<b>RESPONSABLE:</b>	Cubas Castro, Diego Fernando
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	27/06/2018	<b>REVISADO POR:</b>	

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	152.87	217.83	345.86
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000.00	1000.00	1000.00
CBR (%)	15.29	21.78	34.59
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	2.16	2.27	2.53




RESULTADOS	
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.19
CBR 0.1" (%)	16.50

**OBSERVACIONES:**

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

**Bach. Diego Fernando Cubas Castro**

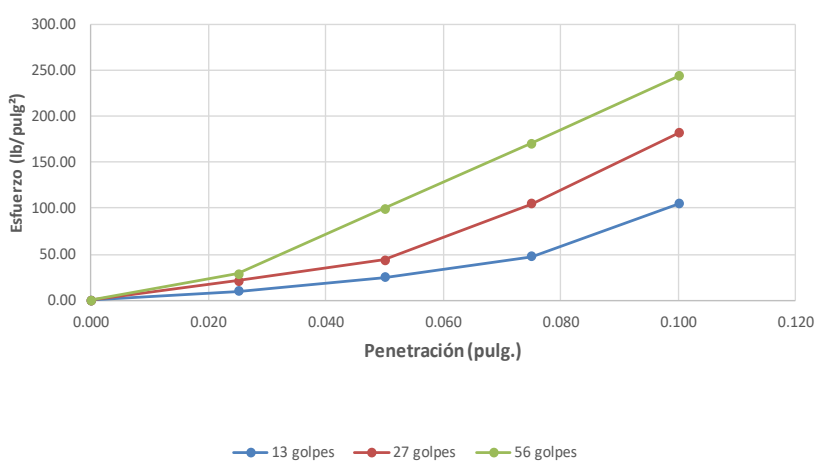
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
	ENSAYO: CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR					CÓDIGO DEL DOCUMENTO:			
	NORMA: MTC E132 / ASTM D188					CBR-LS-UPNC: .....			
	TESIS: RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO								
CALICATA:	C-1	ESTRATO:		TIPO DE MATERIAL:		Afirmado + 5% de Caucho			
UBICACIÓN:	El Gavilán		COLOR DE MATERIAL:		Sepia				
FECHA DE MUESTREO:	28/04/2018		RESPONSABLE:		Cubas Castro, Diego Fernando				
FECHA DE ENSAYO:	28/06/2018		REVISADO POR:						

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg.	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2
0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.635	0.025	4.33	0.67	9.55	9.53	1.48	21.02	13.00	2.02	28.66
1.270	0.050	11.27	1.75	24.84	19.93	3.09	43.95	45.06	6.99	99.36
1.905	0.075	21.66	3.36	47.77	47.66	7.39	105.10	77.17	11.97	170.16
2.540	0.100	47.66	7.39	105.10	82.37	12.77	181.62	110.49	17.13	243.63

**CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN**






— 13 golpes — 27 golpes — 56 golpes

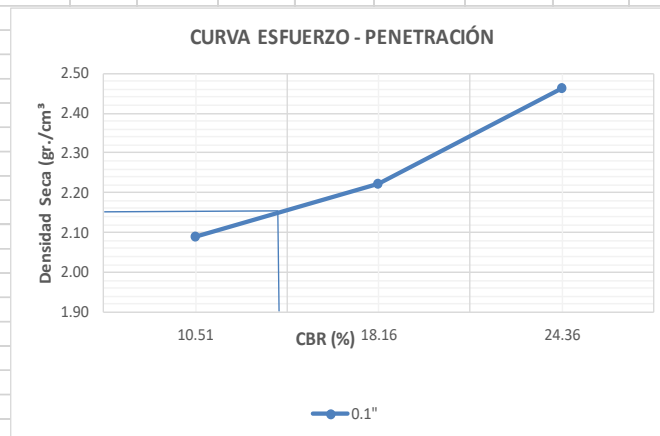
OBSERVACIONES:		

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>		
	PROTOCOLO		
	<b>ENSAYO:</b>	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>
	<b>NORMA:</b>	MTC E132 / ASTM D188	<b>CBR-LS-UPNC:</b> .....
	<b>TESIS:</b>		
	RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO		
<b>CALICATA:</b>	C-1	<b>ESTRATO:</b>	<b>TIPO DE MATERIAL:</b> Afirmado + 5% de Caucho
<b>UBICACIÓN:</b>	El Gavilán	<b>COLOR DE MATERIAL:</b>	Sepia
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	28/04/2018	<b>RESPONSABLE:</b>	Cubas Castro, Diego Fernando
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	28/06/2018	<b>REVISADO POR:</b>	

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	105.10	181.62	243.63
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000.00	1000.00	1000.00
CBR (%)	10.51	18.16	24.36
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	2.09	2.223	2.462




RESULTADOS	
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.16
CBR 0.1" (%)	13.91

**OBSERVACIONES:**

COORDINADOR DE LABORATORIO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	ASESOR DE TESIS
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018

**Bach. Diego Fernando Cubas Castro**

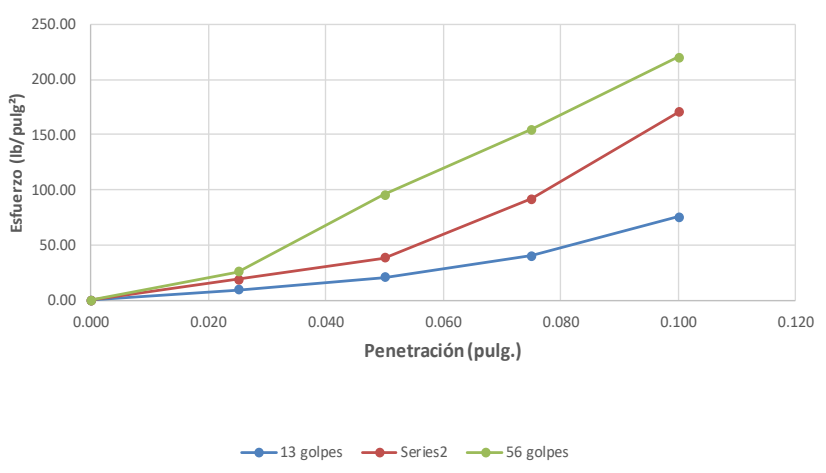
	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>									
	PROTOCOLO									
	<b>ENSAYO:</b> CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR					<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>				
	<b>NORMA:</b> MTC E132 / ASTM D188					<b>CBR-LS-UPNC:</b> .....				
<b>TESIS:</b> RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO										
<b>CALICATA:</b>	C-1		<b>ESTRATO:</b>			<b>TIPO DE MATERIAL:</b>		Afirmado + 7% de caucho		
<b>UBICACIÓN:</b>	El Gavilán		<b>COLOR DE MATERIAL:</b>		Sepia					
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	28/04/2018		<b>RESPONSABLE:</b>		Cubas Castro, Diego Fernando					
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	28/06/2018		<b>REVISADO POR:</b>							

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg.	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2	Kg	Kg/cm2	Lb/pl2
0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.635	0.025	4.33	0.67	9.55	8.67	1.34	19.11	11.74	1.82	25.89
1.270	0.050	9.53	1.48	21.02	17.33	2.69	38.22	43.20	6.70	95.25
1.905	0.075	18.20	2.82	40.13	41.60	6.45	91.72	70.19	10.88	154.78
2.540	0.100	34.23	5.31	75.48	77.13	11.96	170.06	99.66	15.45	219.75


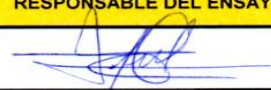
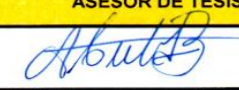
  

**CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN**




— 13 golpes — Series2 — 56 golpes

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>ASESOR DE TESIS</b>
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018



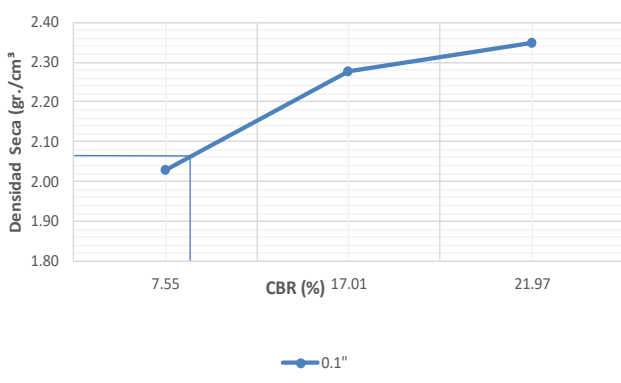
	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
	PROTOCOLO			
	<b>ENSAYO:</b>	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>	
	<b>NORMA:</b>	MTC E132 / ASTM D188	<b>CBR-LS-UPNC: .....</b>	
<b>TESIS:</b>	<b>RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO INCORPORANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE CAUCHO</b>			
<b>CALICATA:</b>	C-1	<b>ESTRATO:</b>	<b>TIPO DE MATERIAL:</b> Afirmado + 7% de caucho	
<b>UBICACIÓN:</b>	El Gavilán	<b>COLOR DE MATERIAL:</b>	Sepia	
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	28/04/2018	<b>RESPONSABLE:</b>	Cubas Castro, Diego Fernando	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	28/06/2018	<b>REVISADO POR:</b>		

ESFUERZOS PARA 0.1" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA			
Molde N°	Molde N°1	Molde N°2	Molde N°3
Penetración (Pulg.)	0.1"	0.1"	0.1"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	75.48	170.06	219.75
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000.00	1000.00	1000.00
CBR (%)	7.55	17.01	21.97
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	2.03	2.28	2.35

**CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN**



— 0.1"

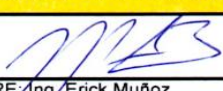

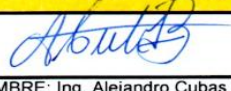
  

RESULTADOS	
Máxima densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.065
CBR 0.1" (%)	8.80

**OBSERVACIONES:**

<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>ASESOR DE TESIS</b>
		
NOMBRE: Ing. Erick Muñoz	NOMBRE: Diego Fernando Cubas Castro	NOMBRE: Ing. Alejandro Cubas Becerra
FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018	FECHA: 23 / 05 / 2018